企业生产与投资决策支持系统构建*

欧阳汉　丁　童　吴碧霞　张雨菲　李　康

摘要：随着数字经济的飞速发展，企业的最优化决策成为可能，这为企业的数字化转型奠定了基础。传统的决策支持系统往往缺乏可解释性和自适应能力、不能结合宏观预期和企业自身多类别微观禀赋做出全局最优化决策。为弥补以上缺陷，本文从微观机理出发，结合数字孪生技术和智能微元模型（ABM）思想，构建了智能-交互-集成化决策支持系统。该系统全面考虑了企业的生产资料、销售、库存、存贷款利率、劳动力雇佣、预期等关键因素，在各种约束条件下，以实现最大化利润为目标做出多类别的生产和投资决策。本系统具备高度的可解释性和交互性。通过验证，该系统可靠，符合现实预期。从微观层面看，该系统为企业生产投资提供了量化决策支持；从中观层面看，可通过进一步构建产业链，为产业政策的制定提供参考；宏观层面而言，其可作为宏观经济复杂系统的一部分，与其余部类协调，演绎和预测不同政策的效果。

关键词：企业最优化　决策支持系统　智能微元模型　生产决策　投资决策

Construction of Enterprise Production and Investment Decision Support System

Ouyang Han, Ding Tong, Wu Bixia, Zhang Yufei, Li Kang

Abstract: With the rapid development of the digital economy, optimal decision-making for enterprises has become possible, laying the foundation for the digital transformation of enterprises. Traditional decision support systems often lack interpretability and adaptability, cannot integrate macro expectations with the multiple micro-endowments of the enterprise itself to make globally optimized decisions. To address these shortcomings, this paper starts from micro mechanisms and combines digital twin technology with the concept of Agent-Based Modeling (ABM) to construct an intelligent-interactive-integrated decision support system. This system comprehensively considers key factors such as production resources, sales, inventory, loan interest rates, labor hire, expectations, etc., and under various constraints, aims to make multi-category production and investment decisions to maximize profits. The system possesses high interpretability and interactivity. Through validation, the system is reliable and meets real-world expectations. From a micro perspective, this system provides quantified decision support for enterprise production and investment; from a meso perspective, it can provide reference for industry policy formulation

*本项研究得到国家社会科学基金“人口生育政策调整的供给侧与需求侧效应模拟研究”（基金号：20XTJ002）的资助。丁童为本文通讯作者。

through further building industrial chains; at the macro level, it can serve as part of the macroeconomic complex system, coordinate with other sectors, deduce and predict the effects of different policies.

Keywords: Enterprise optimization; decision support system; ABM; production decision; investment decision

一、引言

随着人工智能技术的持续创新和进步，数字经济得到了迅猛的发展，为各行各业带来了前所未有的机遇和挑战。通过自动化和智能化的手段，人工智能极大地提升了生产效率和质量，推动了生产力的革新，为企业的数字化转型奠定了坚实的基础。在这个信息爆炸的时代，企业需要处理大量的数据和信息，以做出更为精准和高效的决策。因此，构建企业生产与投资决策支持系统成为数字化转型的关键环节，对于提升企业的竞争力、优化资源配置和推动可持续发展具有重要意义。

目前，数字经济和新兴技术的快速发展，为企业发展提出了新要求（Peng and Bao，2023）。这种发展趋势不仅促使企业内部管理模式发生了一定转变（戚聿东、肖旭，2020），还在非完全信息的动态博弈环境中，要求各个具有异质性的企业做出更为理性的决策（Liu et al.，2021）。同时，各企业还面临着产能过剩、市场竞争激烈（刘航等，2016）、投资及出口压力过大（郭春丽，2012）、提高产线利用率以及资源利用率（Feng et al.，2023；Madanhire and Mbohwa，2016；Meng and Jiang，2023）、缺乏长远思考（池国华等，2016）、难易结合前沿技术实现创新（陈冬梅等，2020）等问题。但不同企业受宏观因素的影响各异（卢永艳，2013；孟庆斌、师倩，2017），需各企业结合新技术，优化生产体系（赵剑波，2020）。

因此，有学者提出将数字化转型战略融入企业（Matt et al.，2015）。数字化转型是一种由新兴技术驱动的业务转型（Tang，2021），不仅是技术层面的革新，更是企业运营模式和管理理念的深刻变革（吴非等，2021）。通过数字化转型，企业可以实现对业务流程的全面优化和智能化升级，提高生产力、降低成本（Matt et al.，2016）。同时，数字化转型还能够推动企业创新和转型升级，为企业的长远发展奠定坚实基础。如今，数字技术平台已成为经济活动持续增长的重要基石，通过重塑公司的愿景和战略、优化组织结构、革新业务流程、提升能力水平，以适应不断变化的市场环境（Gurbaxani and Dunkle，2019）。

其次，企业决策支持系统作为数字化转型的重要组成部分，能够为企业提供强大的数据分析和决策支持能力（庞建敏，2006）。通过整合企业内部和外部的数据资源，利用先进的数据分析技术和算法，企业决策支持系统可以帮助企业发现潜在的市场机会、评估风险和收益、优化资源配置、减低成本（Pérez-Castillo et al.，2020）和制定战略计划。这对于企业在激烈的市场竞争中保持领先地位具有重要意义。当前主流的决策支持系统尽管在一定程度上能够辅助企业进行决策，如通过神经网络构建决策支持系统（Wen et al.，2008），但往往缺乏可解释性和自适应能力，且只从单一方面进行决策，如信贷决策（黄益平、邱晗，2021）、

生产决策（刘克春，2010）、销售决策（高举红等，2015）、仓储决策（Teerasoponpong and Sopadang，2022）资源规划（Ouiddad et al.，2021；Xie et al.，2014）等。它们往往基于固定的规则和模型进行运算，难以应对复杂多变的实际情况。因此，为了更深入地理解企业内部和外部环境之间的相互作用，并为企业决策提供科学依据，学者们开始将智能微元模型（Agent-based Model，ABM）思想引入企业决策领域（Fuller and Moran，2001）。

智能微元模型思想为企业提供了一个合理的分析框架，有助于我们更全面地把握企业的变化和发展过程，以及企业在不断变化的市场环境中的适应和进化机制。ABM 作为一种独特的模拟和分析工具，以其微观可解释性在复杂系统研究中脱颖而出。与神经网络类模型相比，ABM 不仅关注系统的宏观行为，还深入探究构成系统的各个微观元素（即“智能微元”）的行为和决策过程。在过去的二十多年里，智能微元模型思想在各个领域都取得了显著的研究成果，包括医学（Clark et al.，2023）、地球科学（Gong et al.，2023）、环境科学与生态学（Smajgl and Barreteau，2017）、社会学（Macy and Willer，2002）以及经济学（范如国等，2013；Sutherland and Heuvel，2002；Vandin et al.，2022）等多个学科。特别是在经济学领域，著名经济学家 J. Doyne Farmer 在《Nature》杂志上发表文章，积极倡导利用 ABM 来深入探索现实经济规律和市场机制（Farmer and Foley，2009）。此外，基于代理人的计算经济学（Agent-based Computational Economics，ACE）理论也逐渐成为研究热点。许多学者运用 ACE 理论对经济现象进行总结与应用（李律成等，2017；Chen et al.，2012），并为政策测试从另一方面提供了有效方法（Fagiolo and Roventini，2016）。同时，这些模型也被用于宏观经济预测（Gatti and Grazzini，2020；Poledna et al.，2023），为政策制定者提供了更为准确和科学的决策依据。

通过审视前人的研究，发现企业生产与投资决策支持系统是一个高度复杂且具备自适应特性的系统，由异质性的企业构成，相互作用并持续变化（Kirman，2010）。因此，要想作出正确的决策，应洞悉其中的价格变动以及影响机制，且不能简单化处理企业市场的资源配置问题，以免各个企业失去独立思考和决策的能力（Akerlof and Shiller，2010）。因此，构建一个真实反映企业部类特性的生产与投资决策支持系统显得尤为关键。

综上，本文利用数字孪生技术与智能微元模型（ABM）思想，创建出一个与实际相对应的智能-交互-集成化决策支持系统，实时反映物理实体的状态，助力企业深入了解和掌握资产与运营过程，优化生产线运行。企业还可以利用系统模拟不同的情境，得到不同决策结果。该系统凸显计算经济学中代理人的核心角色，精准反映了模型的本质与智能性。

二、模型假设及构建

在构建企业生产投资决策系统时，本文基于一系列合理的假设来简化现实世界的复杂性，并突出关键变量和决策变量之间的关系。在模型构建方面，本文采用智能微元模型（ABM）思想作为基本框架，将企业视为具有自主决策能力的代理人，根据市场环境、内部条件以及与其他企业的关系来制定生产与投资决策。

（一）影响因素分析

本文深入剖析了涉及企业创新和产业结构升级等多个方面的因素，以揭示它们对特定现象或结果的具体作用。

在企业创新层面，众多学者研究表明，技术创新对于企业的收入与利润具有显著的提升效果。特别是在技术创新数量与水平都相对较高的企业中，这种提升效果更为明显（周煊等，2012）。面对国际形势的转变、外部需求减少以及劳动力成本上升等挑战，中小企业不得不寻找创新的新出路，以应对当前的困境（曹裕等，2009）。因此，通过技术创新提高社会生产力水平成为了企业发展的一条可行之路。在分析创新影响因素时，政府 R&D 资助被视为企业技术创新效率的一个重要因素，并且具有显著的正向影响（白俊红、李婧，2011）。这意味着政府的支持不仅可以促进单个企业的技术创新，还有助于提升整个行业的知识和技术能力，从而推动高质量创新产品的不断涌现（Tzeng et al.，2019）。

在产业结构升级方面，有学者提出了创新、人力资源和资源利用率等衡量标准（李子伦，2014），并强调了产业结构升级在数字经济发展中的重要作用。研究表明，产业结构升级是数字经济影响经济高质量发展的重要因素（徐晓慧，2022）。反过来，数字经济的水平提升也对企业的结构优化升级起到了积极的促进作用，其中数字技术创新对产业结构的影响效果尤为显著（沈运红、黄桁，2020）。

综上所述，企业创新和产业结构升级是推动经济发展的重要因素，而政府支持数字经济的发展则为这两个方面提供了有力的支撑和动力。

（二）企业属性及符号设定

根据上节影响因素分析，并结合微观机理原理选取属性。首先定义企业部类为一个对象，在不同行业中各个企业都有属于自己的一套属性，如生产商品种类、购买资源种类、总劳动力拥有量、生产周期、流动资金、存贷额等。

由于符号众多，在下文中，我们使用以下符号设定：

a. 全体小写的符号表示常数，例如 cash 表示一个变量。

b. 首字母大写的符号表示向量，例如 Ab 表示一个向量。

c. 前两个字母大写的符号表示矩阵，例如 AB 表示一个矩阵。

d. $E(.)$ 符号表示取期望

e. $(.)^e$ 符号表示企业预期达到的状态变量

f. 变量名之前增加 Δ 表示该变量的增量，例如 Δa 表示变量 a 的增量。

g. 首字母右下角的数字 0、1、2 分别代表上次更新到当期剩余时点所剩余的所有属性、当期剩余时点所做决策或属性、下期时点所做决策或属性。

h. 下标 (s,v) 表示在第 s 期和第 v 次调整中的各个变量值。

i. 整体向量符号右下角的数字 i 表示该向量的第 i 个元素。

j. 整体矩阵符号右下角的数字 i，j 表示该向量的第 i 行第 j 列的元素。

k. $Max(A, B)$ 表示取向量 A、B 中的对应元素的最大值，例如 $Max((a, b), (c, d)) = (a, d)$。

l. $Min(A, B)$ 表示取向量 A、B 中的对应元素的最小值，例如 $Min((a, b), (c, d)) = (b, d)$。

m. $A \bullet B$ 表示两向量对应元素相乘组成一个新的矩阵，例如 $(a, b) \bullet (c, d) = (a \cdot c, b \cdot d)$。

n. $diag(.)$ 表示取该矩阵对角线元素组成新的向量，例如 $diag(AB) = diag\left(\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}\right) = (a, d)$。

（1）企业属性

表 1 各期属性

	上次更新时点属性及所留属性	解释说明	当期剩余时点属性	解释说明	下期时点属性	解释说明
材料	$R_0n_{(s,v)}$	现已有材料库存	$R_1N^e_{(s,v)}$	预期当期剩余生产一单位商品所需材料的数量	$R_2N^e_{(s,v)}$	预期下期生产一单位商品所需材料的数量
	$R_0p_{(s,v)}$	上次更新时的材料单价	$R_1p^e_{(s,v)}$	预期当期剩余材料单价	$R_2P^e_{(s,v)}$	预期下期三种市场下的材料单价
商品	$C_0n_{(s,v)}$	现已有商品库存	$C_1p^e_{(s,v)}$	预期当期剩余商品单价	$C_2P^e_{(s,v)}$	预期下期三种市场下的商品单价
			$S_1c^e_{(s,v)}$	预期当期剩余销量上限	$S_2c^e_{(s,v)}$	预期下期销量上限
资	$W_0age_{(s,v)}$	现已有	$c_1ash_{(s,v)}$	当期剩余活期		

金流		预付工资		存款		
			$d_1r_{(s,v)}$	当期剩余到期贷款额（含利息）	$d_2r_{(s,v)}$	下期到期贷款额（含利息）
天数			$d_1ay_{(s,v)}$	当期剩余天数	$d_2ay_{(s,v)}$	下期天数

$$R_0n_{(s,v)}=\begin{pmatrix}R_0n_{(s,v)_1} & R_0n_{(s,v)_2} & \dots & R_0n_{(s,v)_{rs(s,v)}}\end{pmatrix}$$

$$R_1N^e_{(s,v)}=\begin{pmatrix}R_1N^e_{(s,v)_{1,1}} & R_1N^e_{(s,v)_{1,2}} & \dots & R_1N^e_{(s,v)_{1,cs(s,v)}}\\ R_1N^e_{(s,v)_{2,1}} & R_1N^e_{(s,v)_{2,2}} & \dots & R_1N^e_{(s,v)_{2,cs(s,v)}}\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ R_1N^e_{(s,v)_{rs(s,v),1}} & R_1N^e_{(s,v)_{rs(s,v),2}} & \dots & R_1N^e_{(s,v)_{rs(s,v),cs(s,v)}}\end{pmatrix}$$

$$R_2N^e_{(s,v)}=\begin{pmatrix}R_2N^e_{(s,v)_{1,1}} & R_2N^e_{(s,v)_{1,2}} & \dots & R_2N^e_{(s,v)_{1,cs(s,v)}}\\ R_2N^e_{(s,v)_{2,1}} & R_2N^e_{(s,v)_{2,2}} & \dots & R_2N^e_{(s,v)_{2,cs(s,v)}}\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ R_2N^e_{(s,v)_{rs(s,v),1}} & R_2N^e_{(s,v)_{rs(s,v),2}} & \dots & R_2N^e_{(s,v)_{rs(s,v),cs(s,v)}}\end{pmatrix}$$

$$C_0n_{(s,v)}=\begin{pmatrix}C_0n_{(s,v)_1} & C_0n_{(s,v)_2} & \dots & C_0n_{(s,v)_{cs(s,v)}}\end{pmatrix}$$

$$C_1p^e_{(s,v)}=\begin{pmatrix}C_1p^e_{(s,v)_1} & C_1p^e_{(s,v)_2} & \dots & C_1p^e_{(s,v)_{cs(s,v)}}\end{pmatrix}$$

$$C_2P^e_{(s,v)}=\begin{pmatrix}C_2P^e_{(s,v)_{1,1}} & C_2P^e_{(s,v)_{1,2}} & \dots & C_2P^e_{(s,v)_{1,cs(s,v)}}\\ C_2P^e_{(s,v)_{2,1}} & C_2P^e_{(s,v)_{2,2}} & \dots & C_2P^e_{(s,v)_{2,cs(s,v)}}\\ C_2P^e_{(s,v)_{3,1}} & C_2P^e_{(s,v)_{3,2}} & \dots & C_2P^e_{(s,v)_{3,cs(s,v)}}\end{pmatrix}$$

$$S_1c^e_{(s,v)}=\begin{pmatrix}S_1c^e_{(s,v)_1} & S_1c^e_{(s,v)_2} & \dots & S_1c^e_{(s,v)_{cs(s,v)}}\end{pmatrix}$$

$$S_2c^e_{(s,v)}=\begin{pmatrix}S_2c^e_{(s,v)_1} & S_2c^e_{(s,v)_2} & \dots & S_2c^e_{(s,v)_{cs(s,v)}}\end{pmatrix}$$

$$W_0age_{(s,v)}=\begin{pmatrix}W_0age_{(s,v)_1} & W_0age_{(s,v)_2} & \dots & W_0age_{(s,v)_{ls(s,v)}}\end{pmatrix}$$

其中 $R_0n_{(s,v)_i}$ 表示现已有材料 i 库存；$R_1N^e_{(s,v)_{i,j}}$ 表示当期剩余生产一单位商品 j 所需材料 i 的数量；$R_2N^e_{(s,v)_{i,j}}$ 表示下期生产一单位商品 j 所需材料 i 的数量；$C_0n_{(s,v)_i}$ 表示现已有商品 i 库存；$C_1p^e_{(s,v)_i}$ 表示当期剩余商品 i 单价；$C_2P^e_{(s,v)_{i,j}}$ 表示下期三种市场下的商品 j 单价；$S_1c^e_{(s,v)_i}$ 表示当期剩余商品 i 销量上限；$S_2c^e_{(s,v)_i}$ 表示下期商品 i 销量上限；$W_0age_{(s,v)_i}$ 表

示现已有流水线 i 预付工资。

表 2　通用属性

	各时点通用属性	解释说明
	id	企业 id
	$ld_{(s,v)}$	当期剩余是否进行长期决策（0 不决策, 1 决策）
	$Mr^{e}_{(s,v)}$	各流水线机器成本单价
	$rc^{e}_{(s,v)}$	研发成本
	$fp^{e}_{(s,v)}$	研发失败概率
	$DR^{e}_{(s,v)}$	单位产品折旧率
	$D_0eprecition_{(s,v)}$	现已有折旧
种类	$cs_{(s,v)}$	商品种类
	$rs_{(s,v)}$	资源种类
	$Mp^{e}_{(s,v)}$	预期市场差、中、好的概率
流水线	$Ln_{(s,v)}$	各流水线单位劳动数量
	$ls_{(s,v)}$	劳动类型/流水线数量
	$lm^{e}_{(s,v)}$	最低劳动总时长
	$Le^{e}_{(s,v)}$	预期一天劳动时间上限
	$LT^{e}_{(s,v)}$	预期流水线生产一单位商品所需劳动时间
	$Lp^{e}_{(s,v)}$	预期流水线的劳动时间单价
	$Lu_{(s,v)}$	各流水线数量
	$Mn_{(s,v)}$	各流水线的机器数量
	$mc^{e}_{(s,v)}$	预期一天机动时间上限
	$MT^{e}_{(s,v)}$	预期生产一单位商品所需机动时间
	$oc^{e}_{(s,v)}$	预期加班系数
仓库	$in_{(s,v)}$	仓库数量
	$ip_{(s,v)}$	仓库单价
	$Cv_{(s,v)}$	一单位商品体积

	$Rv_{(s,v)}$	一单位材料体积
	$iv_{(s,v)}$	一单位仓库体积上限
资金流	$discount^{e}_{(s,v)}$	预期贴现率
	$asset^{e}_{(s,v)}$	预期固定资产
	$liquidity^{e}_{(s,v)}$	预期预留资金
	$ar_{(s,v)}$	已贷款额
	$lr^{e}_{(s,v)}$	预期贷款利率
	$sr^{e}_{(s,v)}$	预期存款利率
	$lc^{e}_{(s,v)}$	预期贷款系数
新增流水线	$\Delta Ln_{(s,v)}$	新增各流水线单位劳动数量
	$\Delta Le^{e}_{(s,v)}$	新增预期一天劳动时间上限
	$\Delta LT^{e}_{(s,v)}$	新增预期流水线生产一单位商品所需劳动时间
	$\Delta Lp^{e}_{(s,v)}$	新增预期流水线的劳动时间单价
	$\Delta MT^{e}_{(s,v)}$	新增预期生产一单位商品所需机动时间
	$\Delta Mn_{(s,v)}$	新增各流水线的机器数量
	$\Delta W_0 age_{(s,v)}$	新增现已有预付工资

$$Mp^{e}_{(s,v)} = \begin{pmatrix} Mp^{e}_{(s,v)_1} & Mp^{e}_{(s,v)_2} & Mp^{e}_{(s,v)_3} \end{pmatrix}$$

$$Ln_{(s,v)} = \begin{pmatrix} Ln_{(s,v)_1} & Ln_{(s,v)_2} & \ldots & Ln_{(s,v)_{ls_{(s,v)}}} \end{pmatrix}$$

$$LT^{e}_{(s,v)} = \begin{pmatrix} LT^{e}_{(s,v)_{1,1}} & LT^{e}_{(s,v)_{1,2}} & \ldots & LT^{e}_{(s,v)_{1,cs_{(s,v)}}} \\ LT^{e}_{(s,v)_{2,1}} & LT^{e}_{(s,v)_{2,2}} & \ldots & LT^{e}_{(s,v)_{2,cs_{(s,v)}}} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ LT^{e}_{(s,v)_{ls_{(s,v)},1}} & LT^{e}_{(s,v)_{ls_{(s,v)},2}} & \ldots & LT^{e}_{(s,v)_{ls_{(s,v)},cs_{(s,v)}}} \end{pmatrix}$$

$$Lp^{e}_{(s,v)} = \begin{pmatrix} Lp^{e}_{(s,v)_1} & Lp^{e}_{(s,v)_2} & \ldots & Lp^{e}_{(s,v)_{ls_{(s,v)}}} \end{pmatrix}$$

$$Mn_{(s,v)} = \begin{pmatrix} Mn_{(s,v)_1} & Mn_{(s,v)_2} & \ldots & Mn_{(s,v)_{ls_{(s,v)}}} \end{pmatrix}$$

$$MT^e_{(s,v)} = \begin{pmatrix} MT^e_{(s,v)_{1,1}} & MT^e_{(s,v)_{1,2}} & \dots & MT^e_{(s,v)_{1,cs_{(s,v)}}} \\ MT^e_{(s,v)_{2,1}} & MT^e_{(s,v)_{2,2}} & \dots & MT^e_{(s,v)_{2,cs_{(s,v)}}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ MT^e_{(s,v)_{ls_{(s,v)},1}} & MT^e_{(s,v)_{ls_{(s,v)},2}} & \dots & MT^e_{(s,v)_{ls_{(s,v)},cs_{(s,v)}}} \end{pmatrix}$$

$$Cv_{(s,v)} = \begin{pmatrix} Cv_{(s,v)_1} & Cv_{(s,v)_2} & \dots & Cv_{(s,v)_{cs_{(s,v)}}} \end{pmatrix}$$

$$Rv_{(s,v)} = \begin{pmatrix} Rv_{(s,v)_1} & Rv_{(s,v)_2} & \dots & Rv_{(s,v)_{cs_{(s,v)}}} \end{pmatrix}$$

$$\Delta Ln_{(s,v)} = \begin{pmatrix} \Delta Ln_{(s,v)_1} \end{pmatrix}$$

其中 $Ln_{(s,v)_i}$ 表示流水线 i 劳动数量； $LT^e_{(s,v)_{i,j}}$ 表示流水线 i 生产一单位商品 j 所需劳动时间； $Lp^e_{(s,v)_i}$ 表示流水线 i 的劳动时间单价； $Mn_{(s,v)_i}$ 表示流水线 i 的机器数量； $MT^e_{(s,v)_{i,j}}$ 表示流水线 i 生产一单位商品 j 所需机动时间； $Cv_{(s,v)_i}$ 表示一单位商品 i 体积； $Rv_{(s,v)_i}$ 表示一单位材料 i 体积； $\Delta Ln_{(s,v)_1}$ 表示新增流水线 1 单位劳动数量。

（2）**长期决策变量**

在企业长期决策中，选择正确的决策至关重要，因为它们直接关系到企业的未来发展和战略规划。本文将重点讨论三个核心决策问题："新增各流水线数量"、"研发投资"以及"存贷款额"，以解释它们在企业长期决策中的重要性。

首先，流水线数量它直接反映了企业的生产能力。其次，研发投资它代表了企业的创新能力和竞争力，可以推动技术突破、降低成本，从而为企业创造持续增长的动力。最后，存贷款额它反映了企业的资金流动性和财务管理策略。

综上所述，这三种决策变量分别代表了企业的生产扩张、创新发展和财务管理策略，它们共同构成了企业长期决策的核心内容。以下是各长期决策变量的符号与解释说明。

表 3　长期决策变量

变量	解释说明
$\Delta Lu_{(s,v)}$	当期剩余新增各流水线数量
$\Delta rd_{(s,v)}$	当期剩余新增研发（0 未研发, 1 研发）
$\Delta sl_{(s,v)}$	当期剩余新增存贷款额

$$\Delta Lu_{(s,v)} = \begin{pmatrix} \Delta Lu_{(s,v)_1} & \Delta Lu_{(s,v)_2} & \dots & \Delta Lu_{(s,v)_{ls_{(s,v)}}} & \Delta Lu_{(s,v)_{ls_{(s,v)}+1}} & \Delta Lu_{(s,v)_{ls_{(s,v)}+2}} \end{pmatrix}$$

其中 $\Delta Lu_{(s,v)_i}$ ：表示当期剩余新增第 i 条流水线数量。

（3）**短期决策变量**

在企业短期决策中，选择正确的决策也至关重要，因为这些变量将直接影响企业的日常运营和短期利润。以下几点是短期决策的核心解释变量:“当期剩余各流水线新增商品数量”、“当期剩余新增材料数量”、“当期剩余商品销售数量”和“下期各流水线新增商品数量”。

首先，当期剩余各流水线新增商品数量直接影响企业的库存水平、生产效率和短期内的销售能力。其次，合理的材料管理有助于提升材料利用率降低生产成本、减少生产中断的风险。再次，当期剩余商品销售数量直接影响企业的收入、库存水平。最后，下期各流水线新增商品数量为企业的生产规划和资源分配提供了指导，有助于企业提前准备、调整生产资源，以满足未来市场需求。

综上所述，这四种决策变量涉及企业的生产、销售、库存和采购等方面，是短期决策中的核心要素。选择这些决策变量有助于企业更好地应对市场变化、优化资源配置、提高运营效率，从而实现短期利润最大化。

表 4 短期决策变量

商品	解释说明	材料	解释说明
$\Delta C_1N_{(s,v)}$	当期剩余各流水线新增商品数量	$\Delta R_1n_{(s,v)}$	当期剩余新增材料数量
$\Delta S_1n_{(s,v)}$	当期剩余商品销售数量		
$\Delta C_2N_{(s,v)}$	下期各流水线新增商品数量		

$$\Delta C_1N_{(s,v)}=\begin{pmatrix} \Delta C_1N_{(s,v)_{1,1}} & \Delta C_1N_{(s,v)_{1,2}} & \cdots & \Delta C_1N_{(s,v)_{1,\ cs(s,v)}} \\ \Delta C_1N_{(s,v)_{2,1}} & \Delta C_1N_{(s,v)_{2,2}} & \cdots & \Delta C_1N_{(s,v)_{2,\ cs(s,v)}} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \Delta C_1N_{(s,v)_{ls(s,v),1}} & \Delta C_1N_{(s,v)_{ls(s,v),2}} & \cdots & \Delta C_1N_{(s,v)_{ls(s,v),cs(s,v)}} \end{pmatrix}$$

$$\Delta R_1n_{(s,v)}=\begin{pmatrix} \Delta R_1n_{(s,v)_1} & \Delta R_1n_{(s,v)_2} & \cdots & \Delta R_1n_{(s,v)_{rs(s,v)}} \end{pmatrix}$$

$$\Delta S_1n_{(s,v)}=\begin{pmatrix} \Delta S_1n_{(s,v)_1} & \Delta S_1n_{(s,v)_2} & \cdots & \Delta S_1n_{(s,v)_{cs(s,v)}} \end{pmatrix}$$

$$\Delta C_2N_{(s,v)}=\begin{pmatrix} C_2N_{(s,v)_{1,1}} & C_2N_{(s,v)_{1,2}} & \cdots & C_2N_{(s,v)_{1,\ cs(s,v)}} \\ C_2N_{(s,v)_{2,1}} & C_2N_{(s,v)_{2,2}} & \cdots & C_2N_{(s,v)_{2,\ cs(s,v)}} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ C_2N_{(s,v)_{ls(s,v),1}} & C_2N_{(s,v)_{ls(s,v),2}} & \cdots & C_2N_{(s,v)_{ls(s,v),cs(s,v)}} \end{pmatrix}$$

其中 $\Delta C_1N_{(s,v)_{i,j}}$ 表示当期剩余第 i 条生产线新增的第 j 种商品数量；$\Delta R_1n_{(s,v)_i}$ 表示当期

剩余新增的第 i 种材料数量；$\Delta S_1 n_{(s,v)_i}$ 表示当期剩余新增的第 i 种商品销售数量；$\Delta C_2 N_{(s,v)_{i,j}}$ 表示下期第 i 条生产线新增的第 j 种商品数量。

（4）中间变量

由于计算过程涉及众多因素和复杂的逻辑关系，直接构建最终的主体模型将会面临极大的挑战。因此，在构建最终主体模型之前，本文决定引入多重中间变量来简化计算过程并提高效率。

这些中间变量在模型构建中起到了关键的作用。它们不仅可以帮助我们逐步拆解复杂的计算步骤，还能让我们更加清晰地理解和分析模型中的各个部分。通过设定合理的中间变量，我们可以将原本复杂的计算过程分解为一系列相对简单的子问题，从而更容易找到解决方案。

表 5　中间变量

	属性符号	解释说明
商品	$\Delta C_1 n_{(s,v)}$	当期剩余新增商品数量
	$\Delta C_2 n_{(s,v)}$	下期新增商品数量
	$C_2 inventory^e_{(s,v)}$	预期下期初商品库存
材料	$r_1 spread^e_{(s,v)}$	预期当次更新与上次更新的材料利差
	$R_2 inventory^e_{(s,v)}$	预期下期初材料库存
	$R_2 number^e_{(s,v)}$	预期下期新增材料数量
	$R_2 spread^e_{(s,v)}$	预期下期三种市场下的下期与当期剩余的材料利差
现金流	$c_1 income^e_{(s,v)}$	预期当期剩余商品收入
	$r_1 income^e_{(s,v)}$	预期当期剩余材料收入
	$C_2 income^e_{(s,v)}$	预期下期初商品库存卖出的期望收入
	$r_2 income^e_{(s,v)}$	预期下期初材料收入
	$g_1 cash^e_{(s,v)}$	预期当期剩余总现金
	$c_2 ash^e_{(s,v)}$	预期下期活期存款
	$g_2 cash^e_{(s,v)}$	预期下期总现金
成本	$icost_{(s,v)}$	仓库成本
	$c_1 ost^e_{(s,v)}$	预期当期剩余新增材料成本
	$U_1 novertime^e_{(s,v)}$	预期当期生产流水线无加班系数的人工成本

	$Basic^{e}_{(s,v)}$	预期流水线的最低人工成本
	$u_1cost^{e}_{(s,v)}$	预期当期剩余已使用材料成本
	$U_2novertime^{e}_{(s,v)}$	预期下期生产流水线无加班系数的人工成本
	$U_2cost^{e}_{(s,v)}$	预期下期三种市场下的已使用材料成本
	$W_1age^{e}_{(s,v)}$	预期当期流水线的人工成本
	$W_2age^{e}_{(s,v)}$	预期下期流水线的人工成本
	$e_1xpend^{e}_{(s,v)}$	预期当期剩余总支出
	$C_2ost^{e}_{(s,v)}$	预期下期三种市场下的新增材料成本
	$e_2xpend^{e}_{(s,v)}$	预期下期总支出

运用定值变量与决策变量计算得出第一层中间变量，再结合第一层中间变量计算得出第二层中间变量，如此循环往复计算出 6 层中间变量。其中包括向量类、数值类变量。

①第 1 层中间变量

$$\Delta C_1 n_{(s,v)} = \left[\sum_{i=1}^{ls_{(s,v)}} \Delta C_1 N_{(s,v)_{i,1}}, \sum_{i=1}^{ls_{(s,v)}} \Delta C_1 N_{(s,v)_{i,2}}, \ \ldots \ , \sum_{i=1}^{ls_{(s,v)}} \Delta C_1 N_{(s,v)_{i,cs_{(s,v)}}} \right] \quad (1)$$

$$icost_{(s,v)} = in_{(s,v)} \cdot ip_{(s,v)} \quad (2)$$

$$c_1ost^{e}_{(s,v)} = \sum_{i=1}^{rs_{(s,v)}} max\left(\Delta R_1 n_{(s,v)_i} \cdot R_1 p^{e}_{(s,v)_i}{}^{T}, 0\right) \quad (3)$$

$$U_1novertime^{e}_{(s,v)} = diag\left(LT^{e}_{(s,v)} \cdot \Delta C_1 N_{(s,v)}{}^{T}\right) \bullet Lp^{e}_{(s,v)} + W_0age_{(s,v)} \quad (4)$$

$$Basic^{e}_{(s,v)} = Ln_{(s,v)} \cdot lm^{e}_{(s,v)} \bullet Lp^{e}_{(s,v)} \quad (5)$$

$$u_1cost^{e}_{(s,v)} = R_1 p^{e}_{(s,v)} \cdot R_1 N^{e}_{(s,v)} \cdot \Delta C_1 n_{(s,v)}{}^{T} \quad (6)$$

$$c_1income^{e}_{(s,v)} = \Delta S_1 n_{(s,v)} \cdot C_1 p^{e}_{(s,v)}{}^{T} \quad (7)$$

$$r_1income^{e}_{(s,v)} = \sum_{i=1}^{rs_{(s,v)}} \left| min\left(\Delta R_1 n_{(s,v)_i}, 0\right) \right| \cdot R_1 p^{e}_{(s,v)_i} \quad (8)$$

$$r_1spread^{e}_{(s,v)} = R_0 n_{(s,v)} \cdot \left(R_1 p^{e}_{(s,v)} - R_0 p_{(s,v)}\right)^{T} \quad (9)$$

$$\Delta C_2 n_{(s,v)} = \left[\sum_{i=1}^{ls_{(s,v)}} \Delta C_2 N_{(s,v)_{i,1}}, \sum_{i=1}^{ls_{(s,v)}} \Delta C_2 N_{(s,v)_{i,2}}, \ \ldots \ , \sum_{i=1}^{ls_{(s,v)}} \Delta C_2 N_{(s,v)_{i,cs_{(s,v)}}} \right] \quad (10)$$

$$R_2inventory^{e}_{(s,v)} = \Delta R_1 n_{(s,v)} + R_0 n_{(s,v)} - R_1 N^{e}_{(s,v)} \cdot \Delta C_1 n_{(s,v)}{}^{T} \quad (11)$$

$$C_2inventory^{e}_{(s,v)} = \Delta C_1 n_{(s,v)} + C_0 n_{(s,v)} - \Delta S_1 n_{(s,v)} \quad (12)$$

$$U_2novertime^{e}_{(s,v)} = diag\left(LT^{e}_{(s,v)} \cdot \Delta C_2 N_{(s,v)}{}^{T}\right) \bullet Lp^{e}_{(s,v)} \quad (13)$$

$$U_2cost^{e}_{(s,v)} = \Delta C_2 n_{(s,v)} \cdot R_2 N^{e}_{(s,v)}{}^{T} \cdot R_2 P^{e}_{(s,v)}{}^{T} \quad (14)$$

②第 2 层中间变量

$$W_1age^e_{(s,v)} = Max\left(oc^e_{(s,v)} \cdot (U_1novertime^e_{(s,v)} - Basic^e_{(s,v)}) + Basic^e_{(s,v)},\ Basic^e_{(s,v)}\right) \quad (15)$$

$$W_2age^e_{(s,v)} = Max\left(oc^e_{(s,v)} \cdot (U_2novertime^e_{(s,v)} - Basic^e_{(s,v)}) + Basic^e_{(s,v)},\ Basic^e_{(s,v)}\right) \quad (16)$$

$$R_2number^e_{(s,v)} = \Delta C_2n_{(s,v)} \cdot R_2{N^e_{(s,v)}}^T - R_2inventory^e_{(s,v)} \quad (17)$$

$$E\left(c_2income^e_{(s,v)}\right) = Mp^e_{(s,v)} \cdot C_2P^e_{(s,v)} \cdot C_2{inventory^e_{(s,v)}}^T \quad (18)$$

$$C_2income^e_{(s,v)} = \left(\Delta C_2n_{(s,v)} + C_2inventory^e_{(s,v)}\right) \cdot C_2{P^e_{(s,v)}}^T \quad (19)$$

$$R_2spread^e_{(s,v)} = R_2inventory^e_{(s,v)} \cdot \left(R_2P^e_{(s,v)} - R_1p^e_{(s,v)}\right)^T \quad (20)$$

③第 3 层中间变量

$$e_1xpend^e_{(s,v)} = \begin{cases} c_1ost^e_{(s,v)} + \sum_{i=1}^{ls_{(s,v)}} W_1age^e_{(s,v)_i} + icost_{(s,v)} + d_1r_{(s,v)} + Mr^e_{(s,v)} \cdot \Delta Lu_{(s,v)} + rc^e_{(s,v)},\ if\ \ ld_{(s,v)} = 1\ and\ \ rd^e_{(s,v)} = 1 \\ c_1ost^e_{(s,v)} + \sum_{i=1}^{ls_{(s,v)}} W_1age^e_{(s,v)_i} + icost_{(s,v)} + d_1r_{(s,v)} + Mr^e_{(s,v)} \cdot \Delta Lu_{(s,v)},\ if\ \ ld_{(s,v)} = 1\ and\ \ rd^e_{(s,v)} = 0 \\ c_1ost^e_{(s,v)} + \sum_{i=1}^{ls_{(s,v)}} W_1age^e_{(s,v)_i} + icost_{(s,v)} + d_1r_{(s,v)},\ other \end{cases} \quad (21)$$

$$C_2ost^e_{(s,v)} = Max\left(R_2number^e_{(s,v)},\ 0\right) \cdot R_2{P^e_{(s,v)}}^T \quad (22)$$

$$r_2income^e_{(s,v)} = \left|Min\left(R_2number^e_{(s,v)},\ 0\right)\right| \cdot R_2{P^e_{(s,v)}}^T \cdot {Mp^e_{(s,v)}}^T \quad (23)$$

④第 4 层中间变量

$$i_1nterest^e_{(s,v)} = \begin{cases} \Delta sl_{(s,v)} \cdot lr^e_{(s,v)},\ \ if\ \ \Delta sl_{(s,v)} > 0\ \ and\ \ ld_{(s,v)} = 1 \\ \Delta sl_{(s,v)} \cdot sr^e_{(s,v)},\ \ if\ \ \Delta sl_{(s,v)} \le 0\ \ and\ \ ld_{(s,v)} = 1 \\ 0,\ \ other \end{cases} \quad (24)$$

$$g_1cash^e_{(s,v)} = \begin{cases} c_1ash_{(s,v)} + c_1income^e_{(s,v)} + r_1income^e_{(s,v)} + \Delta sl_{(s,v)},\ \ if\ \ ld_{(s,v)} = 1 \\ c_1ash_{(s,v)} + c_1income^e_{(s,v)} + r_1income^e_{(s,v)},\ \ other \end{cases} \quad (25)$$

$$e_2xpend^e_{(s,v)} = C_2ost^e_{(s,v)} \cdot {Mp^e_{(s,v)}}^T + \sum_{i=1}^{ls_{(s,v)}} W_2age^e_{(s,v)_i} + icost_{(s,v)} + d_2r_{(s,v)} \quad (26)$$

⑤第 5 层中间变量

$$prefund^e_{(s,v)} = d_1ay_{(s,v)} \Big/ \left[d_1ay_{(s,v)} + d_2ay_{(s,v)} \cdot \left(period_{(s,v)} - 1\right)\right] \cdot loan^e_{(s,v)} \quad (27)$$

$$c_2ash^e_{(s,v)} = g_1cash^e_{(s,v)} + E\left(c_2income^e_{(s,v)}\right) + r_2income^e_{(s,v)} - e_1xpend^e_{(s,v)} \quad (28)$$

⑥第 6 层中间变量

$$g_2cash^e_{(s,v)} = c_2ash^e_{(s,v)} + C_2income^e_{(s,v)} \cdot {Mp^e_{(s,v)}}^T - E\left(c_2income^e_{(s,v)}\right) \quad (29)$$

（三）模型设计

（1）主体模型

本文假定主体程序运行 N 年，每年有 12 个月，即 12 期，每月进行 V 次调整。流程图说明：首先挑选出需要更新的企业，即需要决策调整的企业，从市场中读取信息并结合自身数据形成预期，即赋值企业所具有的所有属性，在每年一月初进行长期决策并更新相关属性，在每次调整中进行短期决策并更新相关属性。最后不断循环，直到程序停止。

在追求企业长期利润最大化的过程中，运用元启发式优化算法不断调整和优化新增流水线数量、研发投资决策以及新增存贷款额数量。在确定好长期决策变量后进行短期决策，采用 Sequential Least Squares Programming（简称 SLSQP）方法，不断调整优化每期决策，最终求得企业长期利润最大化时的利润与最优决策。

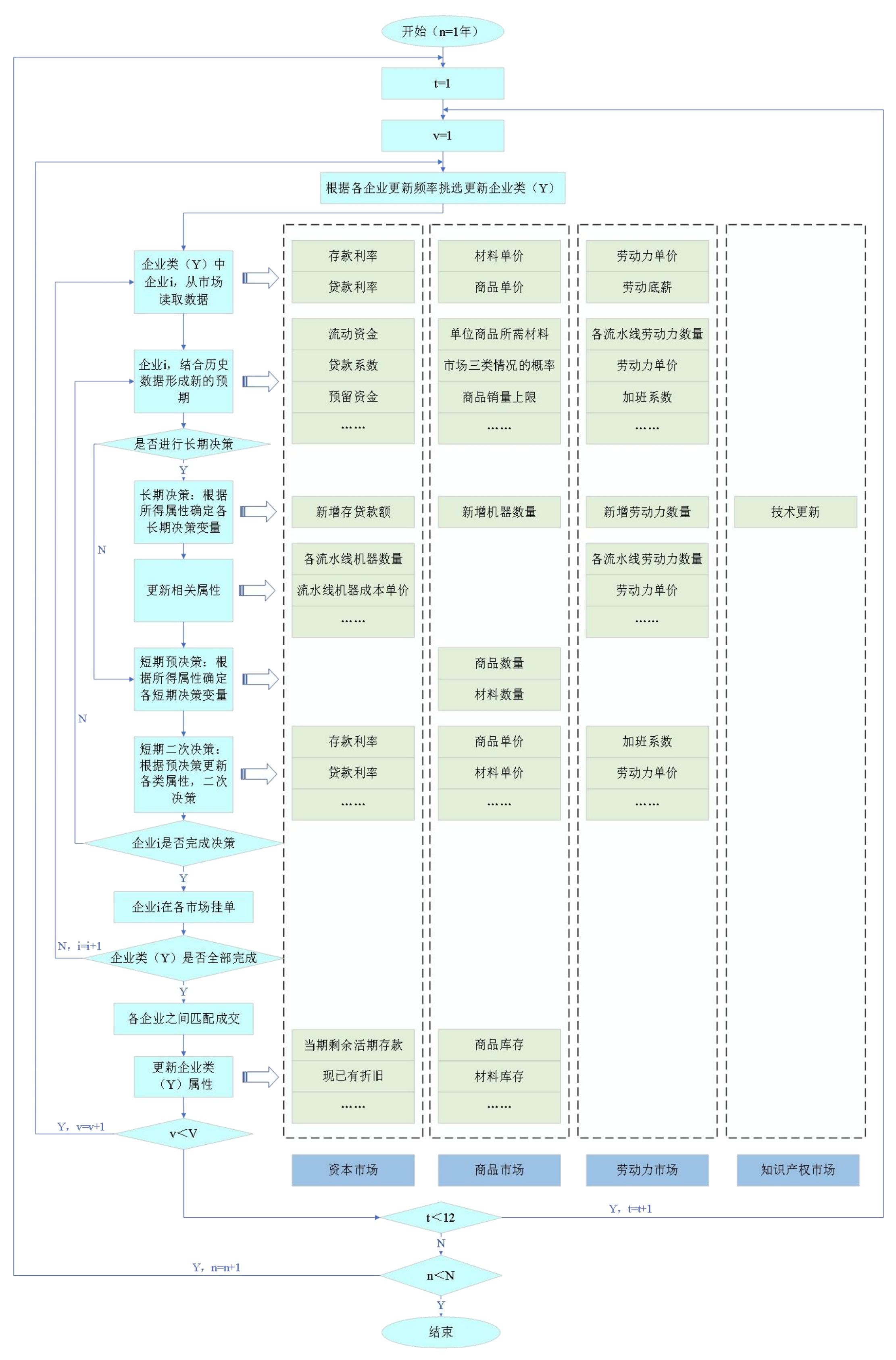


图 1　主体模型流程图

$$ep^{e}_{(s,v)} = \max_{\left(\Delta C_1 u_{(s,v)}, \Delta R_1 n_{(s,v)}, \Delta S_1 n_{(s,v)}, \Delta C_2 u_{(s,v)}\right)} e_1 p^{e}_{(s,v)} + discount^{e}_{(s,v)} \times E\left(e_2 p^{e}_{(s,v)}\right) \tag{30}$$

$$e_1p^e_{(s,v)} = c_1income^e_{(s,v)} - u_1cost^e_{(s,v)} - \sum_{i=1}^{ls_{(s,v)}} W_1age^e_{(s,v)_i} - icost_{(s,v)} + r_1spread^e_{(s,v)} \quad (31)$$

$$E\left(e_2p^e_{(s,v)}\right) = \left(C_2income^e_{(s,v)} - U_2cost^e_{(s,v)} + R_2spread^e_{(s,v)}\right)\cdot Mp^e_{(s,v)}{}^T - \sum_{i=1}^{ls_{(s,v)}} W_2age^e_{(s,v)_i} - icost_{(s,v)} \quad (32)$$

$$ept^e = \max_{\left(\Delta Lu_{(s,v)},\Delta rd_{(s,v)},\Delta sl_{(s,v)}\right)} \sum_{s=1}^{12}\left(e_1pm^e_{(s,v)}\right) \quad (33)$$

其中 $ep^e_{(s,v)}$ 为预期总利润；$e_1p^e_{(s,v)}$ 为预期当期剩余利润；$E\left(e_2p^e_{(s,v)}\right)$ 为预期下期期望利润；$e_1pm^e_{(s,v)}$ 为预期总利润中的预期当期剩余利润；ept^e 为预期多期总利润。

（2）生产材料约束

在当前的物料管理规划中，本文设定了以下重要的约束条件以确保材料使用的合理性，保证在任何情况下，各企业都有足够的材料储备来满足生产需求。

$$\Delta R_1n_{(s,v)} + R_0n_{(s,v)} \geq \Delta C_1n_{(s,v)} \cdot R_1N^e_{(s,v)}{}^T \quad (34)$$

$$R_2number^e_{(s,v)} + R_2inventory^e_{(s,v)} \geq \Delta C_2n_{(s,v)} \cdot R_2N^e_{(s,v)}{}^T \quad (35)$$

通过这一系列的约束条件和计算方式，使之更加精准地掌握材料的使用情况，确保生产过程的顺利进行，避免材料使用情况违背现实意义。

（3）资金约束

在当前的经济环境下，资金约束无疑是企业在运营过程中必须着重考虑的关键因素。首先，现金流约束的存在至关重要，旨在保障企业能够正常运作，并顺利支付日常开支，从而维持企业的稳定运营。除此之外，流动资金约束同样不容忽视。这一约束条件深刻反映了企业在运营过程中对资金流动性的迫切需求，以避免因资金短缺而引发的运营风险。

现金流约束：

$$cflow^e_{(s,v)} \geq 0 \quad (36)$$

$$cflow^e_{(s,v)} = \begin{cases} asset^e_{(s,v)} \times lc^e_{(s,v)} - ar_{(s,v)} + d_1r_{(s,v)} - \left(e_1xpend^e_{(s,v)} - c_1ash_{(s,v)}\right), & if\ \ period_{(s,v)} = 1 \\ c_1ash_{(s,v)} - e_1xpend^e_{(s,v)}, & other \end{cases} \quad (37)$$

$$c_2ash^e_{(s,v)} \geq e_2xpend^e_{(s,v)} \quad (38)$$

其中 $cflow^e_{(s,v)}$ 表示当期剩余现金额。

流动资金约束：

$$g_1cash^e_{(s,v)} - e_1xpend^e_{(s,v)} \geq liquidity^e_{(s,v)} \quad (39)$$

$$g_2cash^e_{(s,v)} - e_2xpend^e_{(s,v)} \geq liquidity^e_{(s,v)} \quad (40)$$

资金约束对企业的运营和发展具有深远的影响。因此，企业需要通过合理规划和管理现金流、活期存款以及流动资金等关键要素，确保现金流与流动资金满足现实意义。

（4）流水线时间约束

在流水线运营过程中，企业面临着多重约束条件，这些条件涵盖了劳动力使用和机器运行时间等方面，以确保生产流程的高效运行。

首先，关于劳动力约束，本文设定了严格的时间限制避免劳动力过度使用导致工作负荷过大。对于机器约束，本文也设定了类似的时间限制。避免机器的过度使用。

劳动力约束：

$$Ln_{(s,v)} \cdot le^{e}_{(s,v)} \cdot d_1ay^{e}_{(s,v)} \geq diag\left(\Delta C_1 N_{(s,v)} \cdot LT^{e\ \ T}_{(s,v)}\right) \tag{41}$$

$$Ln_{(s,v)} \cdot le^{e}_{(s,v)} \cdot d_2ay^{e}_{(s,v)} \geq diag\left(\Delta C_2 N_{(s,v)} \cdot LT^{e\ \ T}_{(s,v)}\right) \tag{42}$$

机器约束：

$$Mn_{(s,v)} \cdot mc^{e}_{(s,v)} \cdot d_1ay_{(s,v)} \geq diag\left(\Delta C_1 N_{\ (s,v)} MT^{e\ \ T}_{(s,v)}\right) \tag{43}$$

$$Mn_{(s,v)} \cdot mc^{e}_{(s,v)} \cdot d_2ay_{(s,v)} \geq diag\left(\Delta C_2 N_{\ (s,v)} \cdot MT^{e\ \ T}_{(s,v)}\right) \tag{44}$$

这些约束条件的设置为保障企业在现已有条件下生产流程能够顺利进行。

（5）商品销量约束

在商品销售过程中，企业面临着预期销量上限的约束，实际销量不应超过这个预设的上限，以避免库存积压或销售过慢导致的资金占用过多。其次，针对未来销售周期的规划，本文也设定了预期下期销量上限，确保库存量能够满足市场需求。

$$S_1c^{e}_{(s,v)} \geq \Delta S_1 n_{(s,v)} \tag{45}$$

$$S_2c^{e}_{(s,v)} \geq \Delta C_2 n_{(s,v)} + C_2 inventory^{e}_{(s,v)} \tag{46}$$

商品销量约束条件在商品销售过程中起着重要的指导作用。通过合理设定销量上限，避免企业过度生产。

（6）库房空间约束

在库房管理中，企业也面临着空间利用的问题，这涉及到如何有效地分配和管理仓库的总体积，以满足商品和材料存储的需求。

$$iv_{(s,v)} \cdot in_{(s,v)} \geq C_2 inventory^{e}_{(s,v)} \cdot Cv_{(s,v)}{}^{T} + R_2 inventory^{e}_{(s,v)} \cdot Rv_{(s,v)} \tag{47}$$

通过对仓库的总体积上限和使用量进行精确计算和合理规划，确保企业仓库空间得到有效利用并避免爆仓情况的发生。

（7）商品、材料非负约束

在企业的运营管理中，确保商品和材料数量的非负性是至关重要的约束条件，以保证企业运营的稳定性。

$$\Delta C_1 N_{(s,v)} \geq 0 \tag{48}$$

$$\Delta S_1 n_{(s,v)} \geq 0 \tag{49}$$

$$\Delta C_2 N_{(s,v)} \geq 0 \tag{50}$$

$$R_2 inventory_{(s,v)}^{e} \geq 0 \tag{51}$$

$$C_2 inventory_{(s,v)}^{e} \geq 0 \tag{52}$$

通过遵循商品和材料的非负约束条件，确保商品和材料数量保持合理性。

三、企业部类模型验证与决策

模型验证在企业部类决策中扮演着举足轻重的角色。建模过程以及模型检测结果是否符合微观经济学规律和直觉，直接关系到宏观仿真结果的可信度和可靠性。同时，在进行企业部类决策时，必须深入分析和理解各项决策流程，确保决策的科学性。

1、企业短期验证

由于微观数据的获取难度较大，其涉及的具体细节和精确性要求导致实际收集过程复杂且耗时。因此，在诸多研究领域中，尤其是当涉及到对复杂系统或模型进行验证时，研究者常常面临数据不足或难以获取的问题。但模拟数据能够有效的解决数据难以获取的问题，他是通过指定分布生成的，能够模拟真实世界中各种复杂情况和数据分布，生成大量具有不同参数和特征的数据集，从而满足研究所需的多样性和丰富性。

所以为了深入探究企业部类模型是否具有经济学意义，本文采用模拟数据对提出的模型或方法进行全面验证。本章节设定了相同的环境条件和预期，对具备单一参数异质性的企业进行了短期的仿真模拟决策分析。本研究旨在通过这种方法，揭示各种异质性指标如何影响企业的短期发展轨迹，进而验证该模型是否符合经济学原理。

为详细分析不同参数的差异对企业模块的影响，本节后续部分将采取逐一检测的方式进行验证。为此，本文设定编号为 1-100 的 100 家企业作为研究样本，确保它们之间的唯一差异仅在于待检测的参数，而其他所有参数和环境背景均保持一致。这些企业的待检参数在设定的检测范围内按照等差递增数列进行变化。在仿真模拟中，做出如下假定：首先，所有企业的决策均能在市场上得到顺利成交；最后，定义企业的短期（一期）为一个月。

在完成一期仿真模拟后，将所得数据进行汇总，并绘制了相关图表进行分析。本文已对

所有属性进行验证，但鉴于图表数量较多，本节仅选取部分关键指标进行说明。

（1）现已有材料库存 $R_0n_{(s,v)}$

本节详细呈现了在不同现已有材料库存水平下，50 个企业的不同决策。在此场景中，本文设定每个企业均配备两条流水线，涉及两种材料的采购和两种商品的生产销售活动。

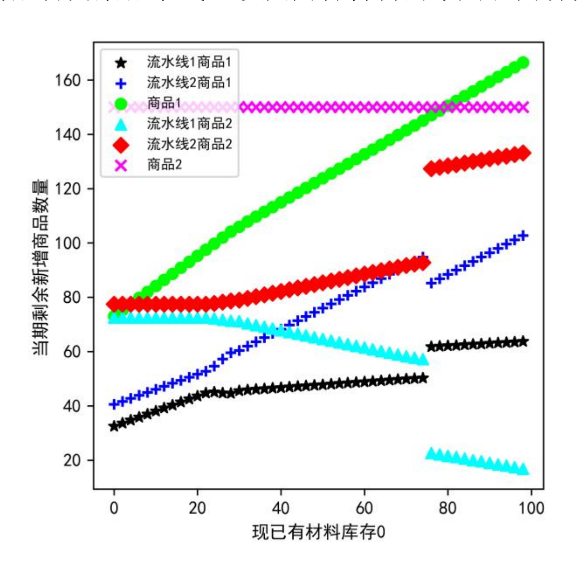


图 2　当期剩余新增商品数量随 $R_0n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

经过深入分析，我们发现商品 2 的投资回报率明显优于商品 1。根据图示信息，对于商品 1 而言，随着现已有材料库存数量的不断增加，其生产资料逐渐丰富，进而推动了产量的稳步上升。而对于投资回报率更高的商品 2，企业在生产过程中会优先生产。值得注意的是，当现已有材料库存为零时，商品 2 的产量已达到其生产上限。此后，无论现已有材料库存如何变化，商品 2 的生产量都将保持稳定。

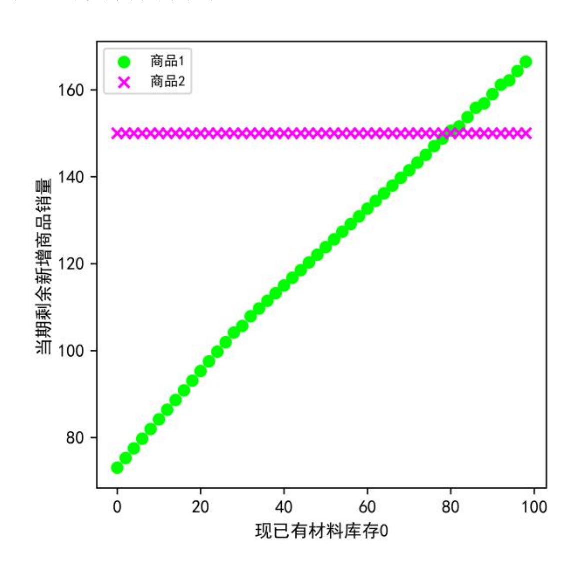


图 3　当期剩余新增商品销量随 $R_0n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

上图与图 2 具有相似性，根据现有的属性信息，我们发现下期商品的期望价格显著低于当期商品的价格。因此，企业决定当期商品不留待下一期进行售卖。这意味着当期商品的产量变动趋势将直接反映为销量的变动趋势。换言之，当期产量的增减将直接对应销量的增减，二者呈现出一致的变动方向。

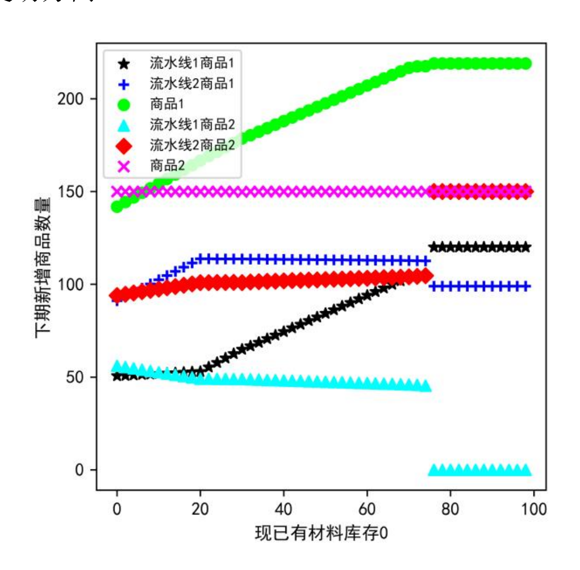


图 4 下期新增商品数量随 $R_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

经过与图 2 类似的分析，我们观察到下期商品 2 的投资回报率依然优于商品 1。根据图示信息，对于商品 1 而言，随着现已有材料库存数量的持续增加，下期活期存款逐渐累积，进而促进了下期产量的稳步攀升，并最终触及下期生产上限。相比之下，由于下期商品 2 拥有更高的投资回报率，企业在下期生产过程中会优先安排商品 2 的生产。特别值得注意的是，当现已有材料库存为零时，下期商品 2 的产量已提前达到其生产上限。此后，无论现已有材料库存状况如何变动，下期商品 2 的生产量都将保持相对稳定，不再发生显著变化。

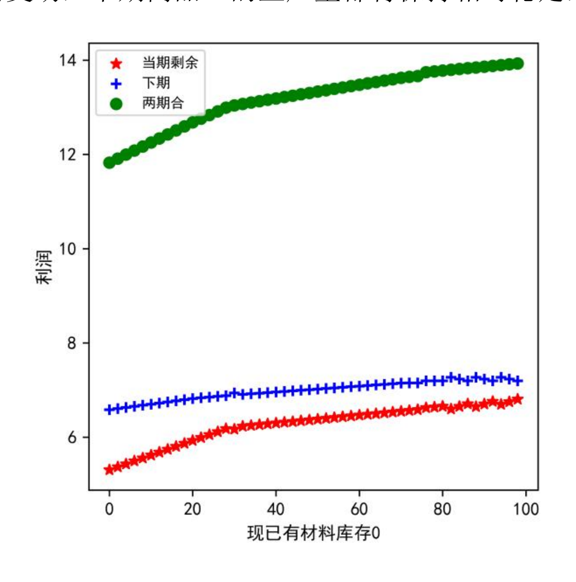


图 5 利润随 $R_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

最后，本文针对目标函数进行深入分析。根据图示信息，随着现已有材料库存数量的逐步增加，生产资料日益丰富，这为商品 1 产量的稳步提升提供了有力支撑。随着商品 1 产量的稳步上升，总体利润也呈现出一定的上升趋势。

（1）现已有商品库存 $C_0 n_{(s,v)}$

本节与上节设定一致，进一步验证在不同现已有商品库存水平下，50 个企业的不同决策。

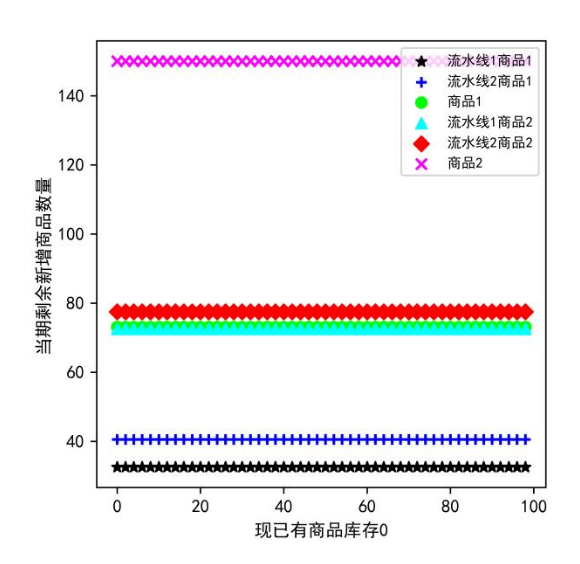


图 6　当期剩余新增商品数量随 $C_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

由于假定当期剩余时段内未形成资金回流，所以根据图示信息可以观察到，现已有商品 1 库存数量的增加，对于当期剩余新增商品数量而言，并未产生积极的促进效用。

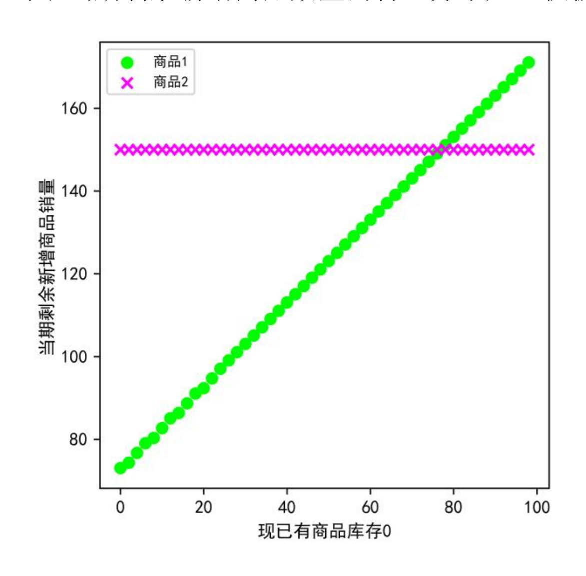


图 7　当期剩余新增商品销量随 $C_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

与上一节内容相符，下期商品的预期价格明显低于当期商品的价格。因此，企业决定不

再将当期商品留至下一期销售。因此如上图所示，随着现已有商品 1 库存数量的增长，当期剩余新增商品 1 的销量也呈现出同比增长的趋势。同时，商品 2 与当期商品的产量变动趋势一致。

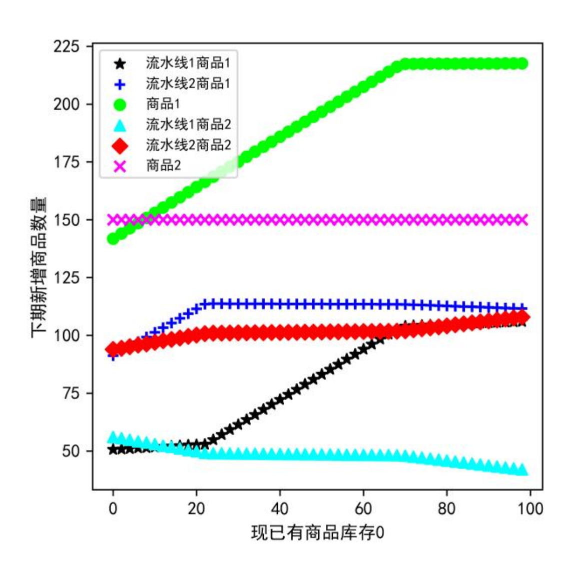


图 8　下期新增商品数量随 $C_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

与上一节的设定保持一致，商品 2 的投资回报率仍然优于商品 1。因此，随着现已有商品 1 库存数量的逐步增加，资金得以回流，下期活期存款增加，进而促进了下期商品 1 产量的稳步攀升，最终使得其产量触及到下期生产上限。其次，当现有商品 1 库存数量归零时，下期商品 2 的产量已经提前达到了生产上限。这意味着，无论此后现有商品库存状况如何变化，下期商品 2 的生产量都将保持在一个相对稳定的水平，不再出现显著的波动或变化。

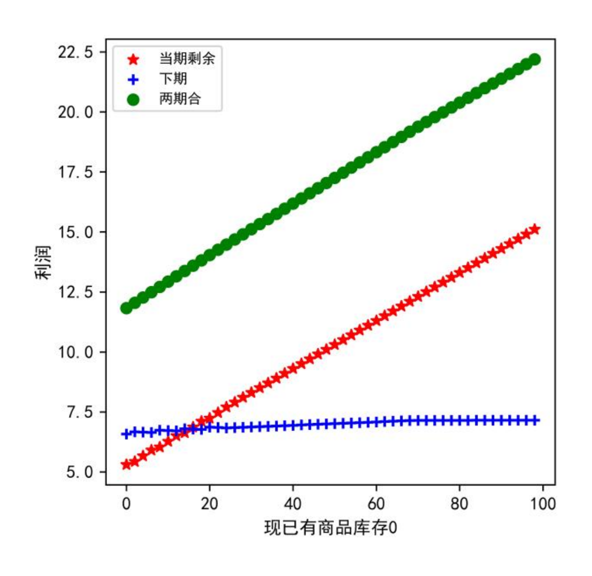


图 9　利润随 $C_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

最后，针对目标函数进行深入分析。根据图示信息，随着现已有商品 1 库存数量的逐步增加，促使商品 1 产量同比增加，当期剩余利润稳步提升，总体利润也呈现出一定的上升趋

势。

（2）预期下期三种市场下的材料单价 $R_2P^e_{(s,v)}$

本节进一步验证在不同的预期下期三种市场下的材料单价下，50 个企业的不同决策。

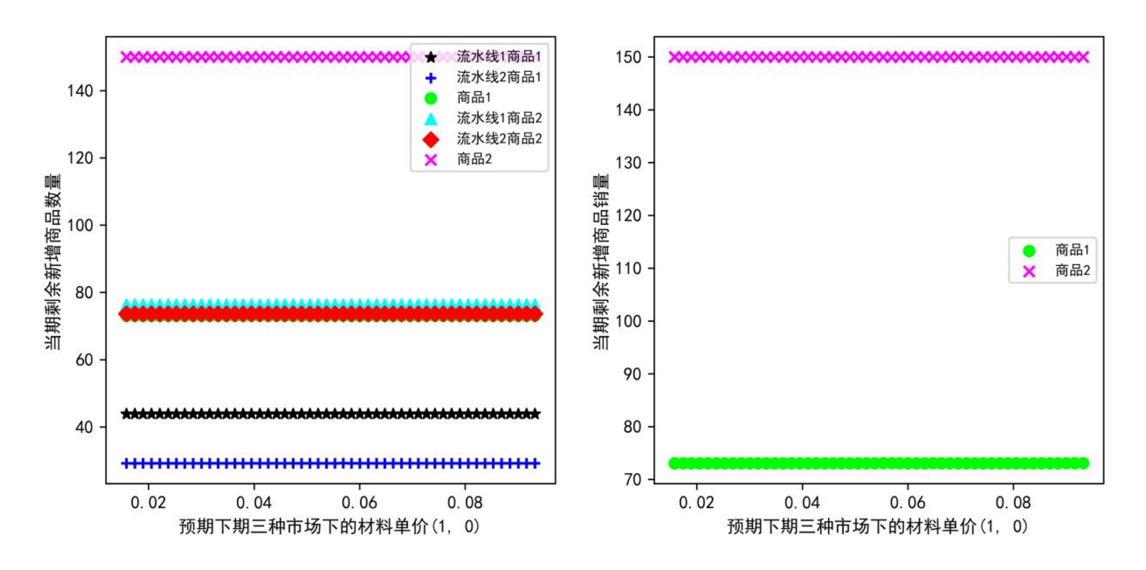


图 10　当期剩余新增商品数量（左）与销量（右）随 $R_2P^e_{(s,v)_{(2,1)}}$ 改变的变动图

由于变动参数为预期下期三种市场下的商品单价，且未形成库存积压，因此，当期剩余时段的生产与销售并未收到影响，总体趋势趋于稳定。

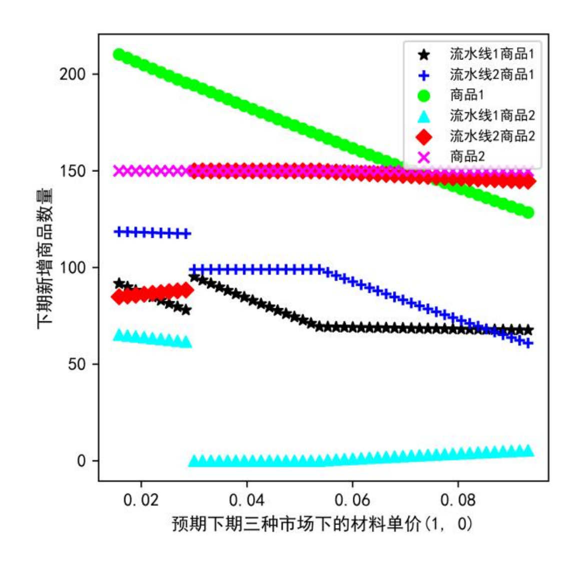


图 11　下期新增商品数量随 $R_2P^e_{(s,v)_{(2,1)}}$ 改变的变动图

在设定条件保持不变的情况下，商品 2 的投资回报率仍然优于商品 1。因此，随着预期下期中等市场下材料 1 单价的逐步攀升，两种商品的单位成本也相应增加，进一步导致了下期商品 1 产量的平稳下降。此外，当预期下期中等市场下材料 1 的单价归零时，下期商品 2 的产量也提前达到了生产上限，这与图 4 和图 8 所示的情况一致，即产量不再出现显著的波

动或变化。

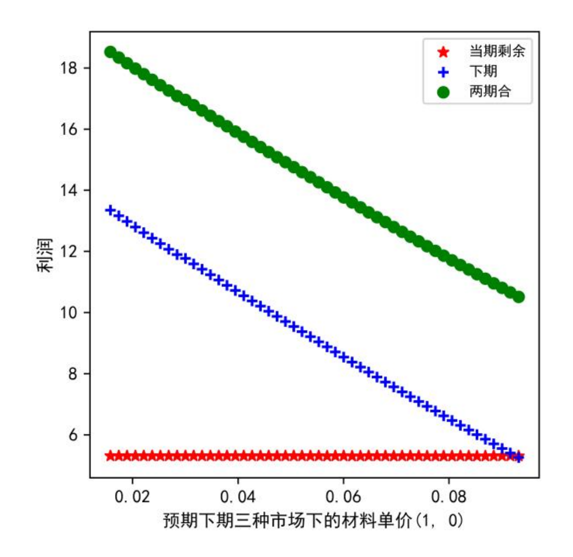


图 12 利润随 $R_2P^e_{(s,v)_{(2,1)}}$ 改变的变动图

结合图 10 可知当期剩余时段的生产与销售并未收到影响，因此当期剩余利趋于稳定。下期利润因商品 1 产量的下降也呈现出稳定的下降趋势，总体利润亦是如此。

结合图 10 可知，当期剩余时段的生产与销售并未受到影响，因此当期剩余利润趋于稳定。其次，由于商品 1 产量的下降，下期利润与总体利润也呈现出稳定的下降趋势。

2、企业多期验证

类似于上一小节，本章节将进一步对企业部类模型进行多期验证。在相同的环境条件和预期下，本文将对具有单一参数异质性的企业进行多期的仿真模拟决策分析。首先，设定编号为 1-100 的 100 家企业作为研究样本。其次，所有企业的决策均能在市场上顺利成交；最后，定义企业的短期（一期）为一个月，并设定整个模型演绎周期为 10 期，以更全面地观察企业在较长时间内的决策轨迹。

在完成 10 期的仿真模拟后，将所得数据进行汇总，并绘制相关图表进行深入分析。鉴于图表数量较多，本章节仅选取部分关键指标进行说明。如需查看详细的图表和数据，请参考附录 2。

（2）当期剩余活期存款 $c_1ash_{(s,v)}$

本节将详细阐述在不同当期剩余活期存款水平以及多期运行背景下，100 个企业所做出的不同决策。在此场景中，本文依旧设定每个企业均配备两条流水线，涉及两种材料的采购和两种商品的生产销售活动。

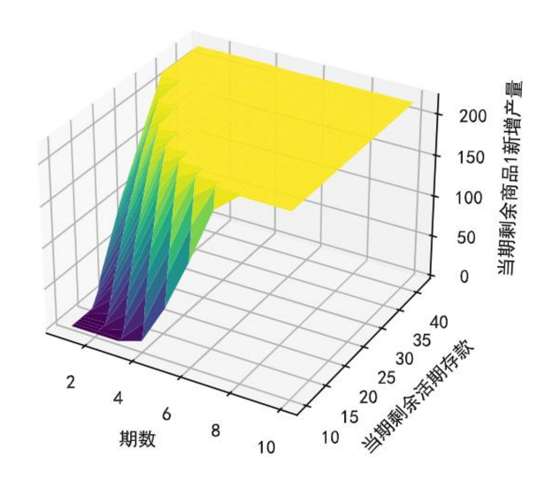


图 13　当期剩余商品 1 新增产量随 $c_1ash_{(s,v)}$ 改变的变动图

根据上节发现，商品 2 的投资回报率优于商品 1。因此，在商品 2 未达到生产上限之前，商品 1 产量保持为 0；一旦商品 2 的产量触及生产上限，企业便会开始生产商品 1。首先，从固定期数的视角出发，随着图 13 中当期剩余活期存款的逐步增加，各企业商品 1 的产量均呈现出明显的递增趋势。这种递增态势持续进行，直至达到生产上限为止。其次，当固定当期剩余活期存款时进行分析，可以发现随着图 13 中期数的不断增加，企业的活期存款也在逐步累积，这种累积效应进一步推动了商品 1 产量的提升，并最终达到生产上限。

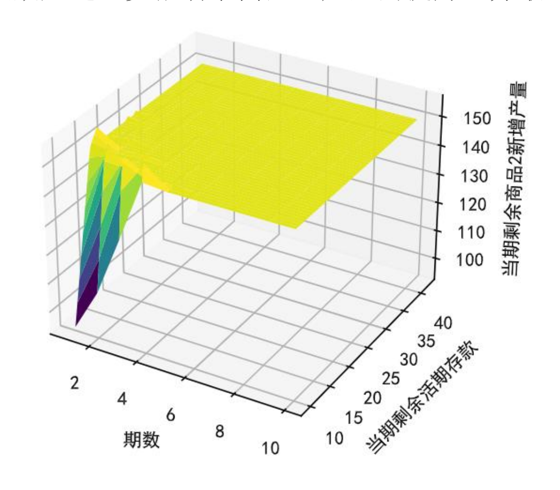


图 14　当期剩余商品 2 新增产量随 $c_1ash_{(s,v)}$ 改变的变动图

同理，对于商品 2 也存在类似的效果。随着图 14 中当期剩余活期存款与期数的逐步增加，商品 2 的产量均呈现出明显的递增趋势。这种递增态势一直持续到商品 2 的产量达到生产上限为止。

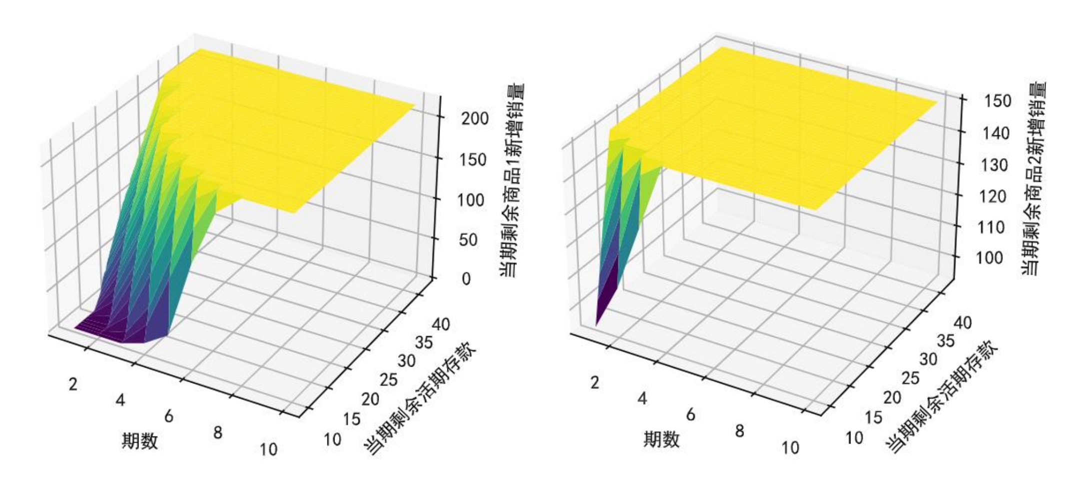


图 15 当期剩余商品 1（左）和商品 2（右）新增销量随 $c_1ash_{(s,v)}$ 改变的变动图

与短期验证的结果相类似，根据当前所掌握的属性信息，我们观察到下期商品的期望价格明显低于当期商品的价格。因此，当期商品将不会留待至下一期进行销售。这意味着当期商品的产量变动趋势将会直接且显著地反映在销量的变动趋势上，二者呈现出一致的变动方向。

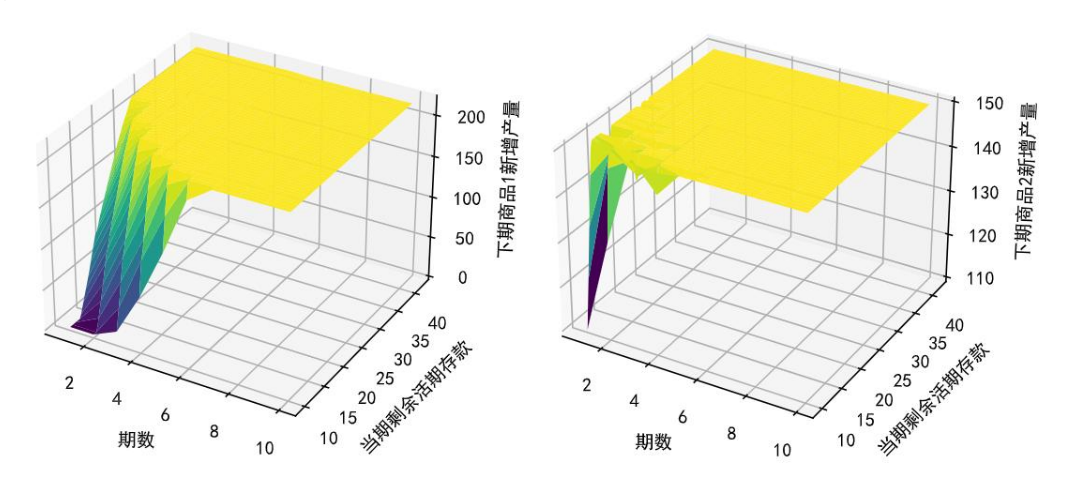


图 16 下期商品 1（左）和商品 2（右）新增产量随 $c_1ash_{(s,v)}$ 改变的变动图

与当期剩余生产商品 1 和商品 2 的情况相似，总体趋势呈现一致性。具体而言，随着当期剩余活期存款与期数的逐步增加，商品 1 和商品 2 的产量均呈现出明显的递增趋势。这种递增态势持续进行，直至商品 1 和商品 2 的产量均达到各自的生产上限为止。

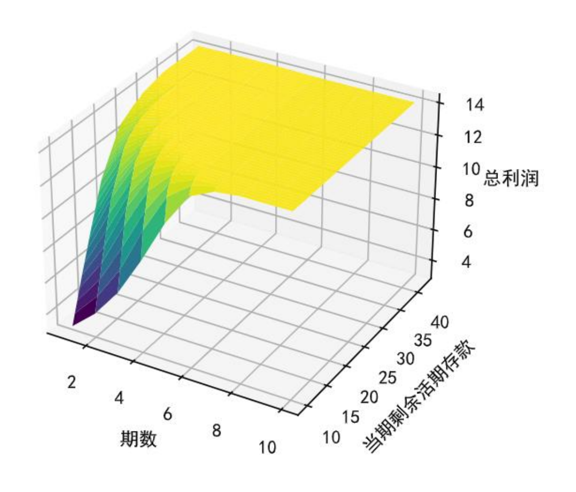


图 17　总利润随 $c_1ash_{(s,v)}$ 改变的变动图

最后，本文针对目标函数进行深入分析。根据图示信息，我们观察到随着当期剩余活期存款和期数的逐步增加，商品 1 和商品 2 的产量得到了显著提升。产量的提升进而促使总体利润也呈现出一定的上升趋势。

（1）现已有材料库存 $R_0n_{(s,v)}$

与上一节的设定保持一致，本节将验证在现已有不同材料库存数量及多期运行环境的背景下，100 个企业各自所做出的不同决策。

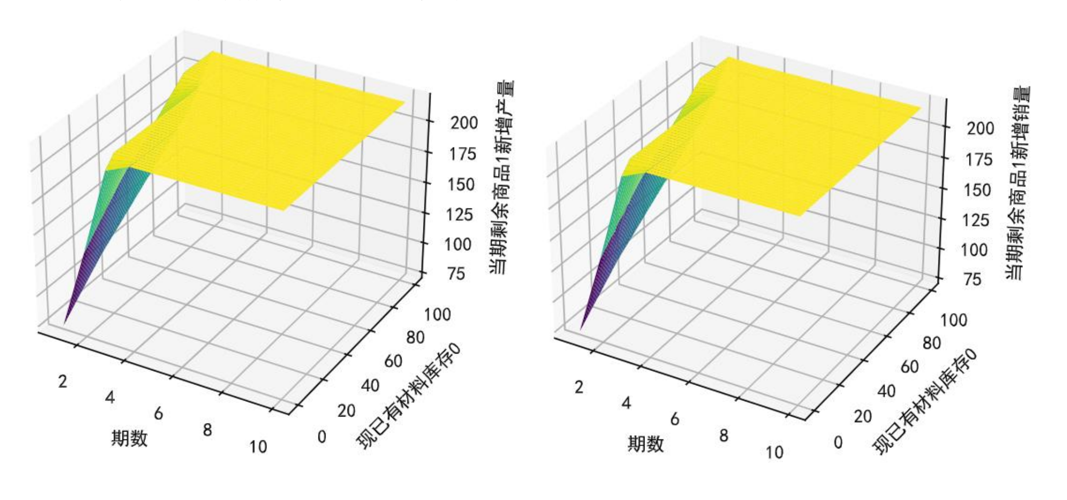


图 18　当期剩余商品 1 新增产量（左）、销量（右）随 $R_0n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

根据假定，商品 2 的投资回报率优高于商品 1。因此，当商品 2 的产量触及生产上限时，企业便会开始生产商品 1。首先，从固定期数的视角出发，随着图 18 中现已有材料库存的逐步增加，生产资料日益丰富，各企业商品 1 的产量均呈现出明显的递增趋势，最终达到生产上限为止。其次，当固定已有材料库存进行分析，可以发现随着图 18 中期数的不断增加，资金逐步累积，这种累积效应进一步推动了商品 1 产量的提升，并最终达到生产上限。而且，由于其余参数的设定，未形成库存积压，因此商品 1 的生产数量与销售数量相等。

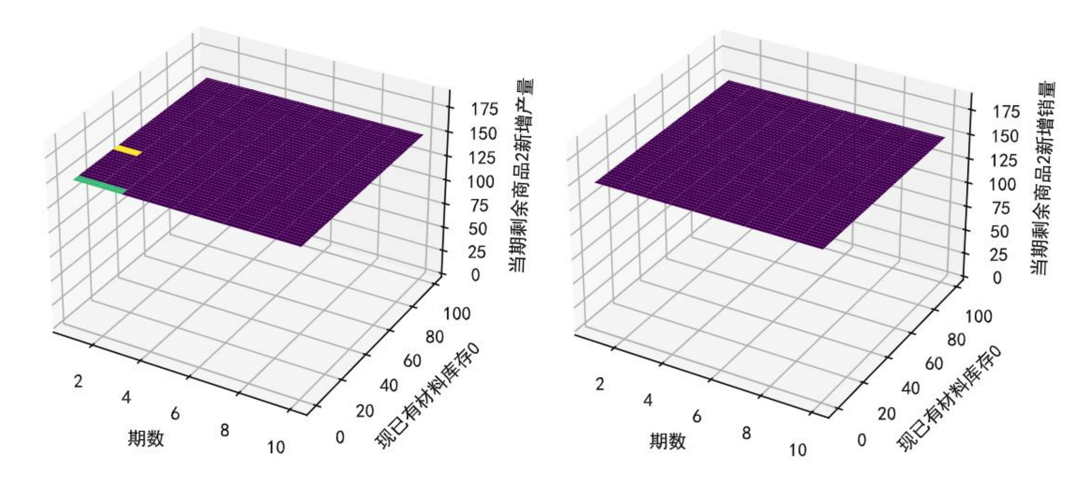


图 19 当期剩余商品 2 新增产量（左）、销量（右）随 $R_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

由于未形成库存积压，因此商品 2 可以直接生产至销量上限，所以现已有材料库存与期数的变动并未影响生产与销售，且生产数量与销售数量相等。

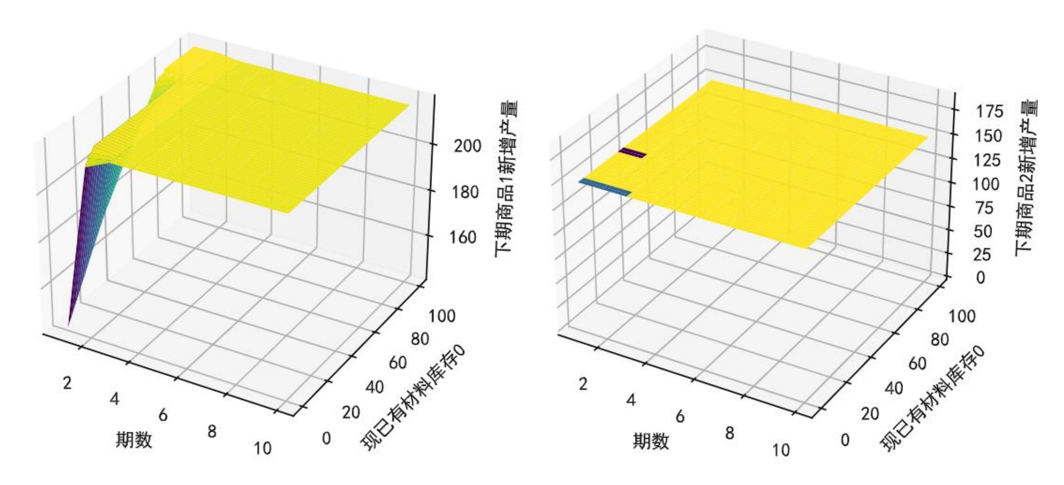


图 20 下期商品 1 新增产量随 $R_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

由于设定参数相近，下期生产商品 1、2 与当期剩余生产商品 1、2 的情况相似，总体趋势呈现一致性。

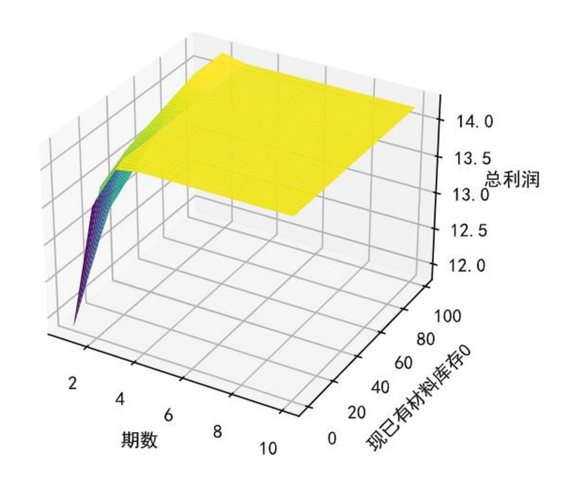


图 21 总利润随 $R_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

最后，根据总利润的变动趋势，可以观察到随着现已有材料库存和期数的逐步增加，商品 1 的产量得到了显著提升，总体利润也呈现出一定的上升趋势。

（3）现已有商品库存 $C_0 n_{(s,v)}$

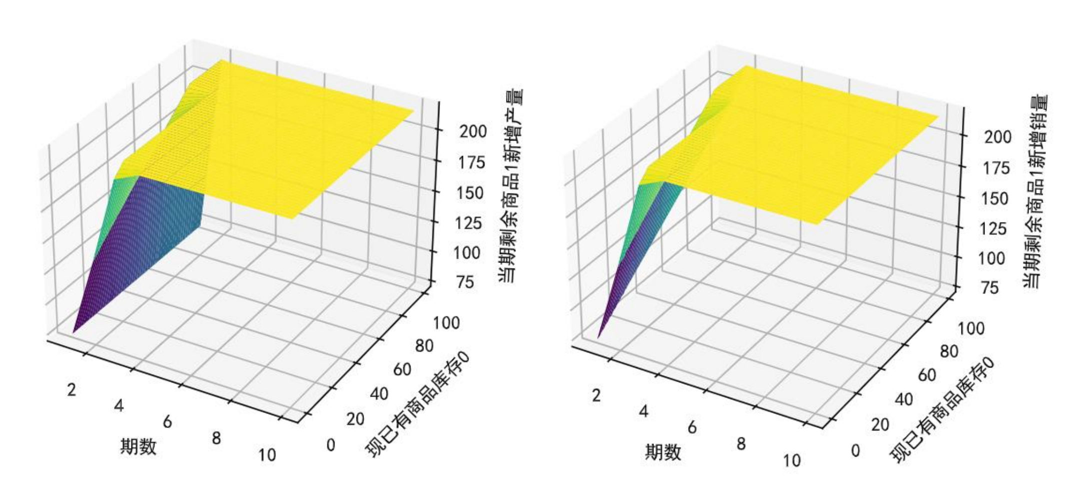


图 22　当期剩余商品 1 新增产量（左）、销量（右）随 $C_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

与图 18 相似，资金逐步累积，这种累积效应进一步促进了商品 1 产量的提升，直至达到生产上限。在此过程中，其他参数的设定也确保了库存并未形成积压，从而使得商品 1 的生产数量加现已有商品库存数量与销售数量保持相等，实现了供需平衡。

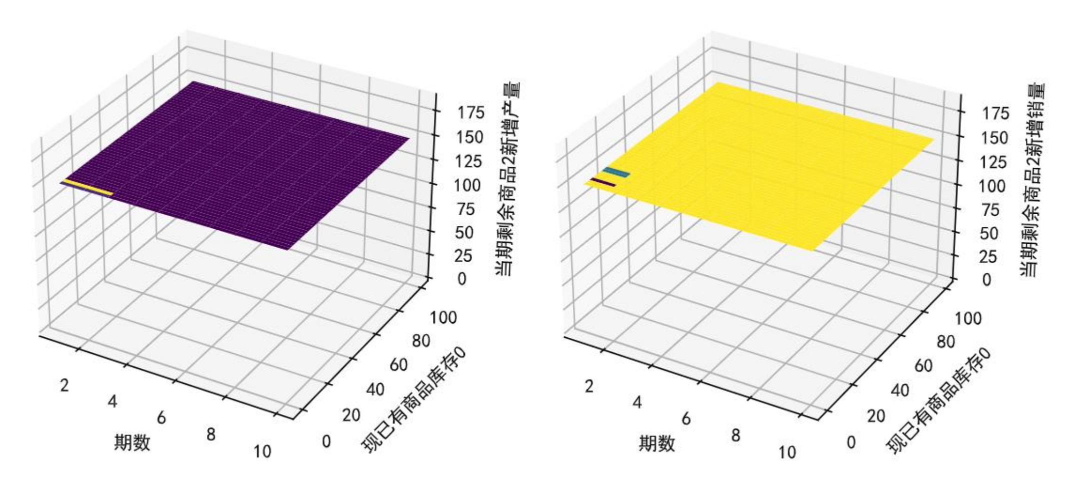


图 23　当期剩余商品 2 新增产量（左）、销量（右）随 $C_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

与图 19 相似，现已有商品库存与期数的变动并未对生产与销售造成影响，且生产数量与销售数量相等，实现了供需平衡。

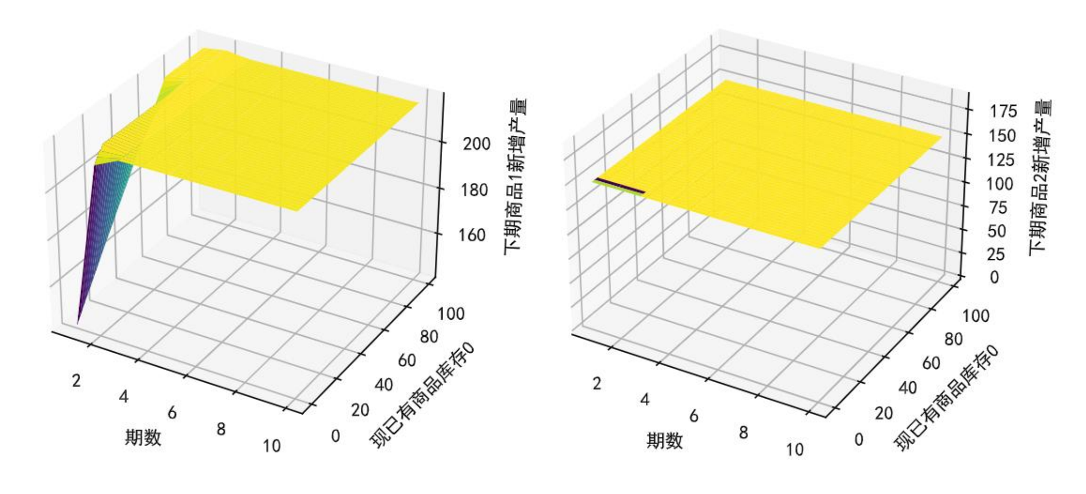


图 24　下期商品 1 新增产量随 $C_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

由于设定参数相近，除第一期外，下期生产商品 1、2 与当期剩余生产商品 1、2 的情况相似，总体趋势呈现一致性。

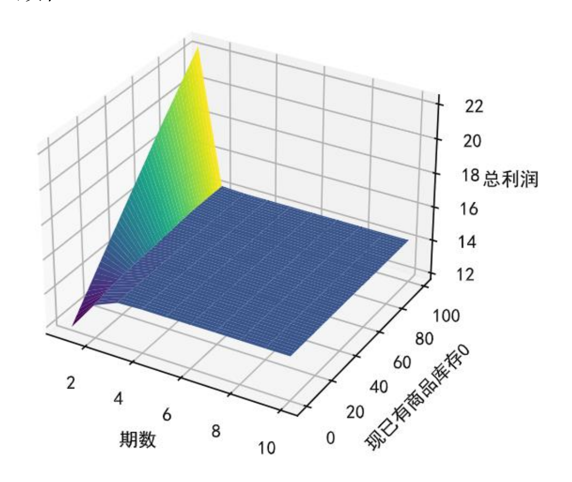


图 25　总利润随 $C_0 n_{(s,v)_1}$ 改变的变动图

最后，根据总利润的变动趋势，可以观察到随着现已有商品库存和期数的逐步增加，商品 1 的产量得到了显著提升，总体利润也呈现出一定的上升趋势。

3、企业新增产线决策

随着科技的飞速发展和市场的持续演变，企业为了保持竞争力和盈利能力，经常需要新增产线。这一决策过程涉及多个关键环节和因素，特别是机器的折旧损耗和人力资源的补充。

在生产过程中，随着机器的折旧损耗逐渐加大，企业需要综合考虑是否进行产线的更新。这一决策不仅关乎企业的短期利润，更与企业的长远发展规划紧密相连。在决策过程中，除了机器设备，人力资源的补充也是一个重要的考虑因素。新增产线通常意味着需要相应增加操作人员、技术人员和管理人员等。

因此，本节将对企业新增产线的整个流程进行详细说明。本文将假设新增机器与人员数

量按一定比例同步增加，以反映实际生产过程中的配套决策。

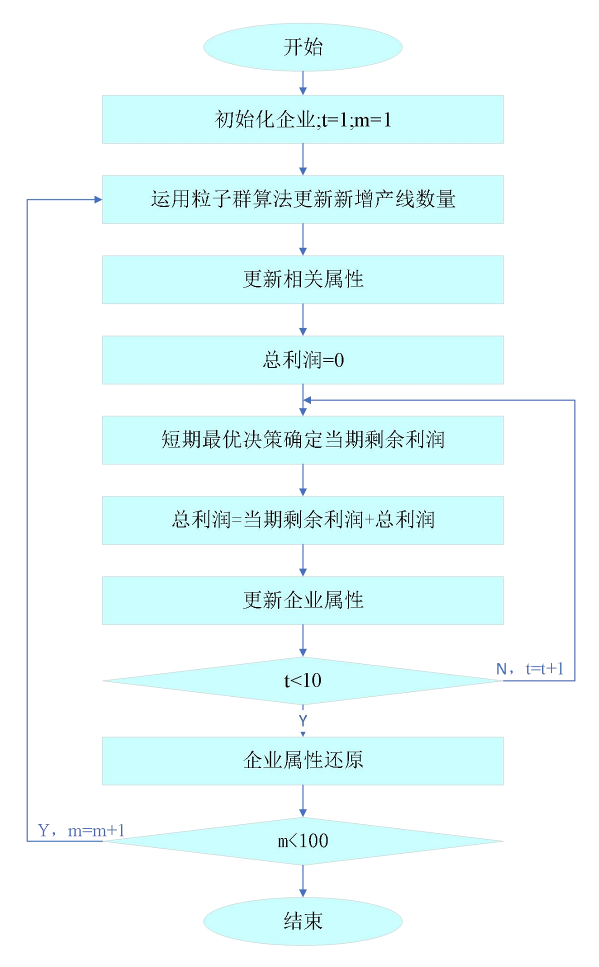


图 26　新增产线决策流程图

4、企业研发投入决策

企业研发投入决策是一个集挑战与机遇于一体的战略过程。它不仅涉及企业内部资源的优化配置，还与市场趋势的敏锐捕捉、技术创新的持续追求以及长期竞争力的培育紧密相连。研发投入不仅是推动企业技术革新的关键引擎，更是决定企业未来发展方向和市场竞争地位的核心要素。

本节旨在对企业研发投入决策进行深入的剖析，以揭示在不同情境下企业应如何做出最优选择。我们将通过对比分析研发与不研发两种环境下的企业利润，探讨哪种环境更有利于企业的长远发展。同时，我们还将充分考虑研发失败与研发成功可能带来的不同后果，以便更全面地评估研发投入的风险与收益。

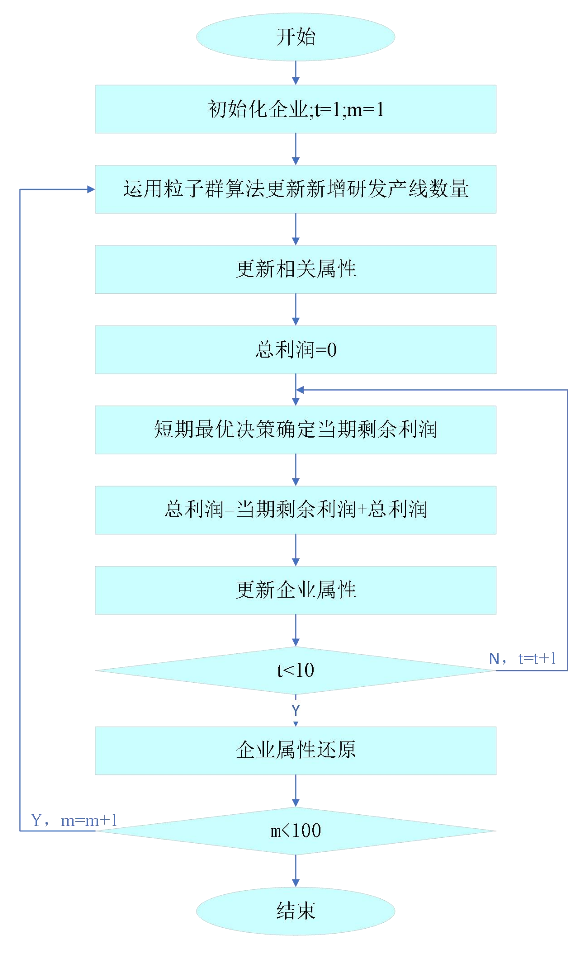


图 27 研发投入决策流程图

5、企业生产决策

企业的生产决策是制定企业战略和日常运营管理的核心环节。它涉及产品生产、生产产线、资源配置、成本控制以及市场需求预测等多个方面。正确的生产决策不仅能确保企业的高效运作，还可以提高企业的市场竞争力，为企业的可持续发展奠定坚实的基础。

本节详细阐述了企业在生产过程中的决策流程。这一流程始于各企业生产周期的确定，随后是一系列紧密相连的决策和操作，旨在确保企业的顺畅运作和利润最大化。在每个生产周期开始时，首先需要确定本周期内参与生产的企业集合。这是一个基于企业战略和市场分析的重要决策。一旦确定了生产的企业，它们将开始准备生产决策，在生产过程中，每个企业都会读取由市场反馈的数据，以了解当前的市场需求、价格等信息。这些数据将用于更新企业的财务状况和生产资料状态，为接下来的生产决策提供重要依据。在确认企业各属性后，企业会最大化地投入生产。这意味着企业会充分利用现有资源，以提高生产效率和降低成本。

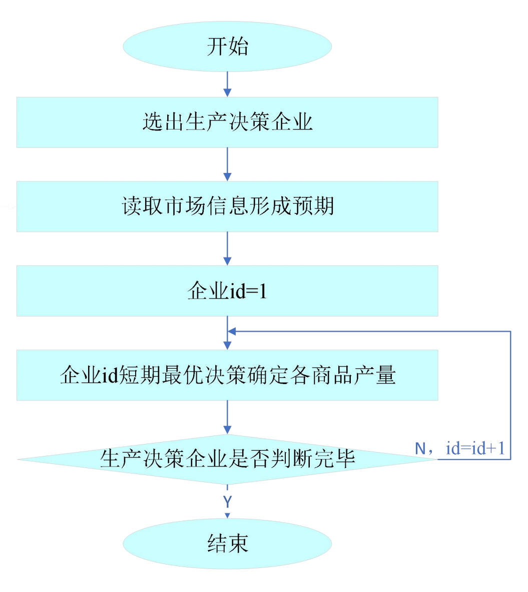


图 28 生产决策流程图

6、企业销售决策

在上述生产决策完成后，企业随即面临的是如何将所生产的商品有效地销售出去的问题。销售环节作为企业运营流程中的关键一环，其成功与否直接关系到企业的盈利能力和市场竞争力。这一决策流程是基于预期的生产和销售决策同时进行的。因此，当生产决策达到预期目标时，企业可以立即根据事先制定的销售决策将生产出的商品推向市场。这个过程包括将商品或服务挂单在适当的销售渠道上，以便吸引潜在的买家进行购买。这一过程将循环进行，直到最后一个企业完成其销售流程。

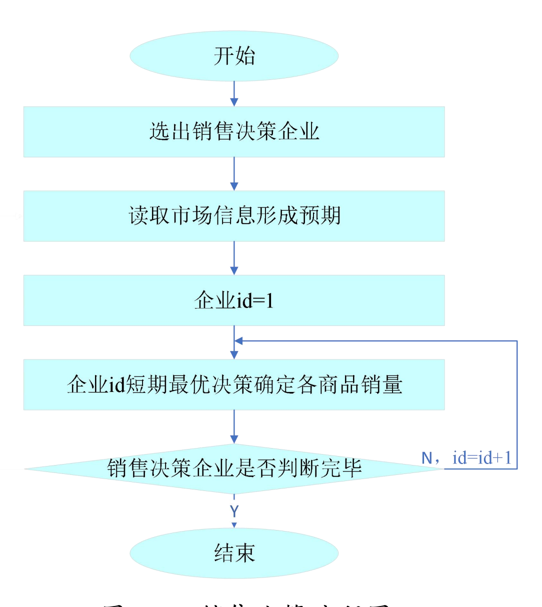


图 29 销售决策流程图

四、结论与展望

1、主要结论

本文依托面向对象程序的便捷性和灵活性，构建了一个具备多重异质性特征的企业部类。该系统能够灵活适应多指标环境，充分考虑到不同企业在现实中可能面临的多样化挑战和复杂条件。在构建过程中，本文基于利润最大化原则，深入模拟了在不同的外界环境中，具有不同预期和禀赋的企业如何各自进行生产投资决策。

为验证模型的有效性和可靠性，本文在第 3 章对模型中的各个重要参数进行了测试。通过分析这些参数在企业多期和短期发展过程中的经济意义，我们验证了它们不仅符合微观经济学原理，还与现实逻辑高度契合。这一过程充分展示了模型所具备的复杂自适应性，使其能够更准确地模拟现实世界中企业的运营状况。

最后，本文进一步模拟了企业部类在一年内的长期决策流程以及每个月内的短期决策过程。通过这种模拟，该系统能够全面考量多种因素，为企业制定短期内的生产、销售决策，以及仓储、机器和员工的使用策略等。此外，在长期决策中，为企业提供产线更新和研发投入的决策依据。最终，这一系统能够预测不同企业的未来发展趋势，为企业的战略规划提供宝贵意见。

2、不足与展望

尽管我们的研究取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处。我们的系统目前尚未直接生成财务报表系统。虽然我们可以根据模型的结果进行财务分析，但缺乏一个自动化的财务报表生成系统可能会限制模型在实际应用中的便捷性和实用性。未来，我们将努力开发这一功能，使模型能够更好地满足实际应用的需求。

本研究在多个方面仍有广阔的发展空间。首先，在税收政策与补贴机制方面，我们计划进一步探索如何通过税收减免、研发补贴等手段，激励企业加大生产与投资。这将有助于我们更好地理解税收政策在推动经济转型升级中的作用。其次，我们的研究目前主要集中在微观层面，未来我们将进一步拓展至中观和宏观层面，通过进一步构建产业链，为产业政策的制定提供参考，与其余部类协调，演绎和预测不同政策的效果。

此外，我们也期待与更多的学者和机构合作，共同推动这一领域的研究。通过跨学科的合作与交流，我们可以汲取不同领域的知识和智慧，共同推动仿真系统在经济学和其他相关领域的应用和发展。

参考文献

(1)白俊红、李婧：《政府RD资助与企业技术创新——基于效率视角的实证分析》，《金融研究》，2011年第6期。

(2)曹裕、白冰、黄健柏：《市场竞争与创新:对当前我国中小企业生存困境的分析——基于Aghion-Dewatripont-Rey模型的框架》，《管理世界》，2009年第8期。

(3)陈冬梅、王俐珍、陈安霓：《数字化与战略管理理论——回顾、挑战与展望》，《管理世界》，2020年第5期。

(4)池国华、杨金、张彬：《EVA考核提升了企业自主创新能力吗?——基于管理者风险特质及行业性质视角的研究》，《审计与经济研究》，2016年第1期。

(5)范如国、叶菁、杜靖文：《基于Agent的计算经济学发展前沿:文献综述》，《经济评论》，2013年第2期。

(6)高举红、韩红帅、侯丽婷、王海燕：《考虑产品绿色度和销售努力的零售商主导型闭环供应链决策研究》，《管理评论》，2015年第4期。

(7)郭春丽：《我国内需率下降的成因及建立扩大内需长效机制的思路》，《经济理论与经济管理》，2012年第9期。

(8)黄益平、邱晗：《大科技信贷：一个新的信用风险管理框架》，《管理世界》，2021年第2期。

(9)李律成、佩特拉・阿尔韦尔、熊航：《新熊彼特主义视角下基于主体的计算经济学研究》，《经济学动态》，2017年第7期。

(10)李子伦：《产业结构升级含义及指数构建研究——基于因子分析法的国际比较》，《当代经济科学》，2014年第1期。

(11)刘航、李平、杨丹辉：《出口波动与制造业产能过剩——对产能过剩外需侧成因的检验》，《财贸经济》，2016年第5期。

(12)刘克春：《粮食生产补贴政策对农户粮食种植决策行为的影响与作用机理分析——以江西省为例》，《中国农村经济》，2010年第2期。

(13)卢永艳：《宏观经济因素对企业财务困境风险影响的实证分析》，《宏观经济研究》，2013年第5期。

(14)孟庆斌、师倩：《宏观经济政策不确定性对企业研发的影响:理论与经验研究》，《世界经济》，2017年第9期。

(15)庞建敏：《企业信用风险度量和预警决策支持系统研究》，《金融研究》，2006年

第3期。

(16)戚聿东、肖旭：《数字经济时代的企业管理变革》，《管理世界》，2020年第6期。

(17)沈运红、黄桁：《数字经济水平对制造业产业结构优化升级的影响研究——基于浙江省2008—2017年面板数据》，《科技管理研究》，2020年第3期。

(18)吴非、胡慧芷、林慧妍、任晓怡：《企业数字化转型与资本市场表现——来自股票流动性的经验证据》，《管理世界》，2021年第7期。

(19)徐晓慧：《数字经济与经济高质量发展：基于产业结构升级视角的实证》，《统计与决策》，2022年第1期。

(20)赵剑波：《推动新一代信息技术与实体经济融合发展:基于智能制造视角》，《科学学与科学技术管理》，2020年第3期。

(21)周煊、程立茹、王皓：《技术创新水平越高企业财务绩效越好吗?——基于16年中国制药上市公司专利申请数据的实证研究》，《金融研究》，2012年第8期。

(22)Akerlof, G. A. and Shiller, R. J., 2010, *Animal spirits: How human psychology drives the economy, and why it matters for global capitalism*, Princeton: Princeton university press.

(23)Chen, S., Chang, C. and Du, Y., 2012, “Agent-based economic models and econometrics”, *The Knowledge Engineering Review*, Vol.27, pp. 187~219.

(24)Clark, J. C., Watson, S. P. and Owen, D. M., 2023, “Validation of agent-based models of surface receptor oligomerisation”, *Trends in Pharmacological Sciences*, Vol.44, pp. 643~646.

(25)Fagiolo, G. and Roventini, A., 2016, “Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: New developments and challenges ahead”, LEM Working Paper, SSRN. 2763735.

(26)Farmer, J. D. and Foley, D., 2009, “The economy needs agent-based modelling”, *Nature*, Vol.460, pp. 685~686.

(27)Feng, T., Chen, X., Ma, J., Sun, Y., Du, H., Yao, Y., Chen, Z., Wang, S. and Mi. Z., 2023, “Air pollution control or economic development? Empirical evidence from enterprises with production restrictions”, *Journal of Environmental Management*, Vol.336, pp. 117611.

(28)Fuller, T. and Moran, P., 2001, “Small enterprises as complex adaptive systems:

a methodological question?”, *Entrepreneurship & regional development*, Vol.13, pp. 47~63.

(29)Gatti, D. D. and Grazzini, J., 2020, “Rising to the challenge: Bayesian estimation and forecasting techniques for macroeconomic Agent Based Models”, *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol.178, pp. 875~902.

(30)Gong, S., Dong, X., Wang, W., Lei, B., Jia, Z., Qin, J., Roadknight, C., Liu, Y. and Cao, R., 2023, “Agent-based modelling with geographically weighted calibration for intra-urban activities simulation using taxi GPS trajectories”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol.122, pp. 103368.

(31)Gurbaxani, V. and Dunkle, D., 2019, “Gearing up for successful digital transformation”, *MIS Quarterly Executive*, Vol.18, pp. 6.

(32)Kirman, A., 2010, “The economic crisis is a crisis for economic theory”, *CESifo Economic Studies*, Vol.56, pp. 498~535.

(33)Liu, J., Sheu, J., Li, D. and Dai, Y., 2021, “Collaborative profit allocation schemes for logistics enterprise coalitions with incomplete information”, *Omega*, Vol.101, pp. 102237.

(34)Macy, M. W. and Willer, R., 2002, “From factors to actors: Computational sociology and agent-based modeling”, *Annual review of sociology*, Vol.28, pp. 143~166.

(35)Madanhire, I., and Mbohwa, C., 2016, “Enterprise resource planning (ERP) in improving operational efficiency: Case study”, *Procedia CIRP*, Vol.40, pp. 225~229.

(36)Matt, C., Hess, T. and Benlian, A., 2015, “Digital transformation strategies”, *Business & information systems engineering*, Vol.57, pp. 339~343.

(37)Matt, C., Hess, T., Benlian, A. and Wiesböck, F., 2016, “Options for formulating a digital transformation strategy”, *MIS Quarterly Executive*, Vol.15, pp. 123~139.

(38)Meng, M. and Jiang, L., 2023, “Optimal production decision of hybrid power generation enterprises in complex trading conditions”, *Energy Reports*, Vol.9, pp. 4195~4204.

(39)Ouiddad, A., Okar, C., Chroqui, R. and Hassani, I. B., 2021, “Assessing the impact of enterprise resource planning on decision-making quality: An empirical study”, *Kybernetes*, Vol.50, pp. 1144~1162.

(40)Peng, J. and Bao, L., 2023, “Construction of enterprise business management analysis framework based on big data technology”, *Heliyon*, Vol.9, pp. e17144.

(41)Pérez-Castillo, R., Ruiz, F. and Piattini, M., 2020, “A decision-making support system for Enterprise Architecture Modelling”, *Decision Support Systems*, Vol.131, pp. 113249.

(42)Poledna, S., Miess, M. G., Hommes, C. and Rabitsch, K., 2023, “Economic forecasting with an agent-based model”, *European Economic Review*, Vol.151, pp. 104306.

(43)Smajgl, A. and Barreteau, O., 2017, “Framing options for characterising and parameterising human agents in empirical ABM”, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 93, pp. 29~41.

(44)Sutherland, J. and Heuvel, W., 2002, “Enterprise application integration encounters complex adaptive systems: a business object perspective”, *Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, IEEE.

(45)Tang, D., 2021, “What is digital transformation?”, *EDPACS*, Vol.64, pp. 9~13.

(46)Teerasoponpong, S. and Sopadang, A., 2022, “Decision support system for adaptive sourcing and inventory management in small-and medium-sized enterprises”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol.7, pp. 102226.

(47)Tzeng, B. H. L., Wang, M., Hsu, S. and Yuan, B. J. C., 2019, “Determinants of Using Standards to Upgrade Chinese Industrial Structure From the Context of Sectoral System of Innovation”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.69, pp. 1891~1901.

(48)Vandin, A., Giachini, D., Lamperti, F. and Chiaromonte, F., 2022, “Automated and distributed statistical analysis of economic agent-based models”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol.143, pp. 104458.

(49)Wen, W., Chen, Y. H. and Chen, I. C., 2008, “A knowledge-based decision support system for measuring enterprise performance”, *Knowledge-Based Systems*, Vol.21, pp. 148~163.

(50)Xie, Y., Allen, C. J. and Ali, M., 2014, “An integrated decision support system for ERP implementation in small and medium sized enterprises”, *Journal of Enterprise Information Management*, Vol.27, pp. 358~384.